
This is the **published version** of the article:

López Simó, Víctor; Pintó, R. Aprenentatge de la física a través d'hipermèdia.
2010. 80 p.

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/98213>

under the terms of the  license



DEPT. DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE
LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS



CENTRE DE RECERCA PER A L'EDUCACIÓ
CIENTÍFICA I MATEMÀTICA

Treball de Recerca:
Aprenentatge de la Física a través d'hipermèdia

**Màster de Recerca en Didàctica de les
Matemàtiques i de les CCEE**

Autor

Víctor López Simó

Tutora

Roser Pintó Casulleras

23 de setembre del 2010



DEPT. DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE
LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS



CENTRE DE RECERCA PER A L'EDUCACIÓ
CIENTÍFICA I MATEMÀTICA

Treball de Recerca:
Aprentatge de la Física a través d'hipermèdia

**Màster de Recerca en Didàctica de les
Matemàtiques i de les CCEE**

Autor

Víctor López Simó

Tutora

Roser Pintó Casulleras

23 de setembre del 2010

AGRAIMENTS

A la meva família, i sobretot a la meva mare, que ha superat fantàsticament tots els reptes inesperats del darrer curs.

A la Roser Pintó, per tota l'atenció i dedicació d'aquests mesos; a tot l'equip del CRECIM, per com m'han acollit i per tot el que m'han ensenyat; i molt especialment a la Marisa, per haver-me aguantat tantes vegades i per haver estat sempre disponible sense demanar res a canvi.

TAULA DE CONTINGUTS

1. Introducció	1
2. Problema de recerca	3
2.1. Presentació del problema	3
2.2. Algunes definicions prèvies	4
3. Antecedents en recerca	7
4. Marc teòric.....	9
5. Concreció dels objectius i de la qüestió de recerca	11
6. Justificació metodològica	13
6.1. Obtenció de dades primàries	13
6.2. Classificació i categorització de les dades	14
6.3. Procés de construcció teòrica.....	15
7. Desenvolupament teòric (primera part).....	17
7.1 Definició i propietats fonamentals dels hipermèdia	17
7.1.1. Hipertextualitat.....	19
7.1.2. Multimedialitat.....	23
7.1.3. Interactivitat	25
7.1.4. Síntesi.....	30
7.2. Principis definitoris de l'aprenentatge com a procés cognitiu	31
7.2.1. Aproximació a una definició d'aprenentatge	32
7.2.2. Com s'aprèn de manera profunda i flexible?.....	35
7.2.3. Síntesi.....	37
7.3. Elements definitoris de la Física com a disciplina	38
7.3.1. Síntesi.....	42
8. Desenvolupament teòric (segona part).....	43
8.1. Física a través d'hipermèdia	44
8.1.1. Síntesi.....	46
8.2. Potencialitats, limitacions i requeriments per a l'aprenentatge a través d'hipermèdia ...	48
8.2.1. Aprenentatge a través de la hipertextualitat.....	48
8.2.2. Aprenentatge a través de la multimedialitat	51
8.2.3. Aprenentatge a través dels recursos interactius.	54
8.2.4. Síntesi.....	56
8.3. Les especificitats de l'aprenentatge de la Física	57
9. Síntesi dels resultats i conclusions	61
10. Prospectiva.....	69
11. Bibliografia.....	70

1. Introducció

Davant la progressiva entrada d'ordinadors en el món educatiu, cada vegada més professors estan incorporant aquesta eina en la seva acció docent. En aquesta conjuntura, des de la didàctica de la Física cal dur a terme recerques per tal d'ajudar a professors de Física i editors a transformar els seus materials clàssics, lineals i impresos (llibres, guions de pràctiques, apunts...) en materials hipermèdia (hipertextuals, multimèdia i interactius). Per aquest motiu he elaborat una recerca per tal de trobar **com haurien de ser aquests documents digitals per ser bons materials educatius per aprendre Física**.

No es tracta d'un treball empíric (és a dir, amb mostra o població, instrument i resultats experimentals directes) sinó que consisteix en un procés d'elaboració teòrica. Com a fonts primàries per a la recerca he dut a terme una observació dels recursos disponibles a la xarxa, així com una revisió bibliogràfica de la literatura provinent de tres camps d'estudi: l'aprenentatge, la Física i els hipermèdia. La metodologia que he seguit en el desenvolupament teòric **es basa en la combinació d'aquests tres camps del coneixement i la recerca dels seus punts d'intersecció**. Finalment, com a resultat de la recerca, acabo proposant una relació de característiques que aquests tipus de materials digitals haurien de tenir.

Aquest treball és el recull d'una part de la meva tasca dins el projecte AFINET¹ (Aprenentatge de la Física a través d'Internet) al CRECIM² de la UAB. Ara bé, aquest projecte també m'ha donat la oportunitat de treballar amb el grup GIEF³ de la UPC. La col·laboració entre ambdues universitats m'ha permès elaborar el treball que aquí presento i implementar alguns dels resultats a través del disseny d'un lloc web educatiu d'acústica⁴. A més, en diferents ocasions he pogut discutir amb diferents experts en els camps que aquí abordo, els quals han passat al llarg del curs 2009-10 pel CRECIM. Finalment, el fet de treballar en el projecte AFINET m'ha permès presentar alguns resultats preliminars als congressos internacionals CBLIS (Varsòvia, juliol del 2010) i GIREP (Reims, agost del 2010).

¹ SEJ2007-68113-C02-01

² <http://www.crecim.uab.cat>

³ <http://baldufa.upc.edu/>

⁴ <http://baldufa.upc.edu/arcadi/>

2. Problema de recerca

2.1. Presentació del problema

A mesura que, en els darrers quinze anys, s'ha estès i consolidat Internet, les TIC i la digitalització de la informació, una part d'aquesta tecnologia també s'ha aprofitat des del món de l'ensenyament. En els centres educatius cada vegada existeixen eines i tecnologies més completes i sofisticades, amb *softwares* més potents i amb dissenys més acurats, ideats per assolir millor les fites d'aprenentatge per al s. XXI.

Internet i el *eLearning* ha permès l'aparició de cursos online, Campus Virtuals, gestors de continguts i una infinitat de pàgines web educatives i biblioteques de recursos online. Paral·lelament, les eines multimèdia han permès l'elaboració de tota mena de materials audiovisuals, l'enregistrament de milions de vídeos i la seva gestió a través de plataformes. Finalment, les xarxes socials, educatives i professionals, els entorns col·laboratius i tot el que envolta les web 2.0 (Wikis, posts, fòrums, blogs, la possibilitat de personalitzar les webs, xarxes per compartir vídeos, fotografies i intercanvi de dades, comentaris, arxius...) han obert una quantitat de portes i interrogants al món de l'educació que, ara per ara, semblen il·limitades. Aquests, juntament amb molts altres *softwares* educatius i materials digitals *offline*, podran ser cada vegada més utilitzats en els centres educatius gràcies a la consolidació de l'ordinador a l'aula, l'entrada de les pissarres digitals i la futura aparició dels pupitres digitals.

D'entre totes aquestes eines, els materials educatius digitals, com ara els llocs web i els llibres digitals, comporten un canvi respecte els materials clàssics, ja que ofereixen noves possibilitats i potencialitats, com ara la lectura no lineal a través de vincles, la comunicació a través d'eines multimèdia i la inserció de recursos interactius. En alguns casos la incorporació d'aquestes eines està suposant millores profundes en les modalitats d'ensenyament, tot i que d'altres ocasions, l'ús d'aquests materials no s'ha demostrat que garanteixi millores significatives. Molt sovint, en la incorporació d'aquests materials educatius digitals, els esforços es centren més en els aspectes tecnològics que no en els aspectes educatius (Austin, 2009), ja que aquests darrers requereixen aclarir aspectes teòrics com ara què s'entén per aprendre a través de les eines multimèdia i interactives.

En el cas de l'ensenyament de la Física, tal com deu succeir amb l'ensenyament de moltes altres disciplines, l'ús de llocs web que contenen textos, vídeos, animacions i tota mena de recursos interactius és cada vegada més recurrent en l'acció docent del professorat. Alther (2003) ja parlava de més de 5000 recursos *applets* de Física disponibles a la xarxa, tot i que la qualitat d'aquests no sempre està garantida. Podríem dir que, ara per ara, la relació entre Internet i l'ensenyament de la Física no està clar (Bohigas et al., 2003). Existeix una nombrosa literatura sobre aquests llocs webs educatius de Física on molts professors de secundària, professors universitaris i investigadors en didàctica proposen els seus dissenys i en destaquen les qualitats educatives de cada lloc web (Clinch et al., 2002; Trinidad, 2002; Altherr, 2003; Cox et al., 2003; Alejandro, 2004; Esquembre et al., 2004; Casellas, 2006; Franco, 2007; Baade et al., 2008; Pejuan et al., 2009). Ara bé, **en poques ocasions s'han explicat**

els ponts conceptuals que cal establir entre què s'entén per aprendre, com s'organitzen i es representen les idees i els models de la Física i quines són les potencialitats dels documents hipermèdia. Això comporta que sigui tan freqüent trobar-se professors, editors o investigadors fent afirmacions com ara *“aquests materials són molt educatius perquè són molt interactius”* o bé *“els alumnes aprenen més perquè les imatges estan en moviment”*, sense abordar, de fons, quina és la vinculació real entre interacció i aprenentatge, o entre animació i aprenentatge. Això demostra que qualsevol canvi cap al món digital no serà *per se* positiu, i que cal una implicació activa des de la Didàctica de les Ciències, i més concretament, de la Física, en la construcció d'un marc teòric sobre com han de ser els materials i recursos digitals, aportant-hi discurs i decisions rigoroses i fonamentades. Aquesta implicació hauria de servir per fer propostes que ajudin, en la mesura del possible, a la resta d'agents implicats a dissenyar aquests materials educatius.

Per construir aquest marc i aportar aquest discurs, cal tenir clares les propietats dels materials i recursos digitals que els fan diferents dels materials educatius clàssics, i veure quines potencialitats ofereixen en un context educatiu. Però alhora, cal recuperar el bagatge teòric que ja existeix entorn de l'aprenentatge en general i l'aprenentatge de la Física en particular, ja que aquest pot ser determinant per ajudar-nos a entendre com han de ser els nous materials digitals i com es pot optimitzar el seu valor educatiu. El que seria un error és que, després de tants anys de treball en el camp de la didàctica, l'aparició dels materials digitals no incorporés tots els avenços obtinguts, i retornés, per exemple, a un enfocament conductista o excessivament transmissiu de l'aprenentatge.

2.2 Algunes definicions prèvies

Un cop presentada la situació, entenc que és imprescindible **exposar breument un conjunt de definicions** per poder-nos d'endinsar amb claredat en aquesta problemàtica. Per tant, per començar, és necessari clarificar alguns termes per així afrontar la varietat de nomenclatures existent, avançar en l'argumentació del problema de recerca i presentar adequadament la qüestió de recerca que pretenc abordar. Tot i així, aquests termes es definiran amb major profunditat en l'apartat 7.1 de la memòria.

El terme **hipermèdia** prové de la combinació d'**hipertext** (document amb vincles que s'estructura de manera no lineal) i **multimèdia** (ús simultani de mitjans comunicatius com la imatge i el text a través de canals diferents: visual i auditiu). Donada la generalitat i antiguitat⁵ del terme hipermèdia, aquest no s'utilitza gaire en el món educatiu, ja que es parla directament de llocs webs, d'entorns virtuals o, més recentment, de llibres i materials digitals.

Tanmateix, és un terme útil per referir-se de manera concisa a tots aquells materials que són:

⁵ Des dels anys 80 es parla d'hipermèdia per referir-se d'una manera molt genèrica a tot allò relacionat amb els ordinadors, però en alguns casos havia arribat a tenir una connotació futurista i gairebé esotèrica. En la majoria de casos s'ha abandonat aquesta terminologia i fins i tot alguns autors i experts del camp la consideren desfassada o passada de moda. Tot i així, jo considero que és un terme molt útil en el meu treball.

- **digitals**, és a dir, que són documents emmagatzemats de manera digital en un ordinador (ja sigui *offline* o *online*) i que es visualitzen a través de la pantalla d'aquest,
- **hipertextuals**, és a dir, que estan composts d'unitats d'informació a les quals s'accedeix de manera independent (nodes) i connectats a la resta a través de vincles,
- **interactius**, és a dir, que responen d'alguna manera a les accions que faci l'usuari a través del teclat i el ratolí,
- **multimèdia**, és a dir, que no només contenen text pla, sinó també imatges, so i moviment.

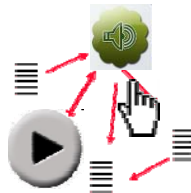


Figura 1: Representació dels documents hipermèdia a través del punter d'un ratolí, el senyal de reproducció d'una animació i la interconnexió i navegabilitat entre les diferents parts del document.

Al llarg del treball, utilitzaré indistintament el terme hipermèdia com a adjectiu (entorns hipermèdia, documents hipermèdia o materials hipermèdia) i com a substantiu, parlant directament dels hipermèdia. En qualsevol cas, en fer-ho, m'estaré referint als **llocs web** organitzats en pàgines (nodes) entrellaçades que conformen una estructura de nodes i vincles, amb continguts propis o compartits a la xarxa (text, enllaços, vídeos, imatges, animacions, simulacions i altres tipus d'aplicacions *applet*) així com altres eines per a la navegació i la interacció (menús, sistemes d'accés centralitzat a la informació, cercadors, desplegable, etc.). A més a més, tot i que les novetats en el món dels llibres digitals podrien donar lloc a altres tipus de materials que no hagi tingut en compte, ara per ara, la majoria de les característiques dels llocs web que exposaré al llarg del treball (arquitectura, modalitats de llenguatge, *applets*...) **són també aplicables en el cas del llibre digital multimèdia.**

De la mateixa manera, quan al llarg del treball parli de textos lineals no m'estaré referint només al text escrit, sinó a tot allò que es representa en un document imprès (imatges, diagrames, taules de valors, equacions, fotografies, esquemes, etc.). Per a referir-m'hi, utilitzaré termes com textos lineals, clàssics, impresos, analògics, etc.

Donada aquesta definició de text, sovint parlo de lector com l'individu que rep la informació, sigui text, imatges o vídeos. En alguns casos, quan destaco l'ús d'eines interactives no parlaré de lector sinó d'usuari. Tot i així, ho faig com a sinònim de lector.

Per acabar aquestes definicions inicials, considero que és oportú fer un conjunt d'aclariments, com són:

1. No tot allò digital és hipertextual. No considero hipermèdia els materials digitals que responen a una estructura de text lineal (documents de Word, Power Point, PDF...) encara que tinguin vincles inserits, sinó només els materials que s'han ideat expressament per ser **navegables i interactius** (HTML, PHP i tots els objectes i aplicacions Flash o Java incrustades). Per aquest motiu, tampoc

abordaré aquells hipertextos pensats com a gestors de continguts lineals (com succeeix en molts Campus Virtuals i plataformes Moodle, on els professors utilitzen el sistema hipertextual per enllaçar documents PDF). Pel mateix motiu, cal distingir entre els llibres digitals hipermèdia i els anomenats llibres electrònics *ebooks* (documents lineals que substitueixen la pantalla pel paper imprès), sense entrar a estudiar la càrrega cultural que comporta la lectura a través d'una pantalla o a través d'un paper imprès.

2. No tot allò navegable respon a uns patrons determinats de navegació. Només tindrè en compte els hipermèdia presentats com a **seqüències d'aprenentatge**. A la xarxa hi ha una gran quantitat de llocs web que contenen recursos *online* (jocs, simulacions, vídeos...) però que estan pensats més aviat com a **biblioteques de recursos** que no com a cursos o unitats didàctiques. Això no treu que citi alguns d'aquests llocs webs i els recursos educatius que contenen, però ho faig per referir-me a les característiques dels objectes que contenen (interactivitat, formats d'activitats interactives, eines multimèdia) però no a l'estructura de nodes i vincles que tenen i el paper d'aquests en la seqüència d'aprenentatge.

3. Antecedents en recerca

Per abordar l'aprenentatge de la Física a través de materials hipermèdia, he tingut en compte la recerca duta a terme en aquells camps que intervenen d'una manera més o menys directa en la determinació de les característiques que han de tenir aquests materials. Per fer-ho, he explorat diferents línies de recerca que presento a continuació i que desenvoluparé en profunditat al llarg del treball. També cito els articles més rellevants sobre cadascun dels camps:

- Els estudis de les **propietats fonamentals dels hipertextos** (siguin o no hipertextos educatius), com són la multiseqüencialitat, l'estructura en xarxa de la informació o la granularitat dels nodes (McKnight, 1992; McKnight et al., 1996; Capón, 2003; Lamarca, 2006) així com els passos que s'han proposat per transformar els textos lineals en hipertextos (Glushko, 1989; Gosse et al., 2002).
- Els estudis sobre **la lectura a través d'hipertextos amb finalitats educatives** (siguin o no específics per a la Física) i els resultats que comporta, a través de la mesura de la motivació, l'atenció o la comprensió del text (Jonassen, 1986; Puntambekar et al., 2003; Amadiieu et al., 2005; Salmerón, 2009).
- La recerca entorn de la **interacció lector-ordinador** (*human computer interaction*) en base als **principis multimèdia** i la **càrrega cognitiva** que generen (Mayer et al., 2003; Tabbers, 2004; Muller et al., 2008; Austin, 2009; Stelzer et al., 2009), així com el l'estudi del **disseny d'interfícies** virtuals i la seva presentació per pantalla amb diferents criteris visuals i cognitius (Troffer, 2001; Torres, 2005; Istrate, 2009).
- Els **principis definitoris de l'aprenentatge** en general i l'aprenentatge de la Física en particular, a través de les estructures cognitives del pensament expert i novell (Bransford et al., 1999; Gerace et al., 1999; Leonard et al., 1999) i del paradigma de l'aprenentatge profund i superficial (Biggs, 1987; Entwistle, 1988; Marton et al., 1997; Biggs et al., 1999).
- La literatura sobre els **elements definitoris de la Física** com a disciplina i com a cos de coneixement, les especificitats del coneixement físic i de les representacions de la Física ((Van Heuvelen, 1991; Discenna, 1998).
- La recerca i la innovació entorn dels **llocs webs educatius de Física disponibles a la xarxa**, sovint centrat en l'ús d'**animacions, simulacions i applets** per a la visualització, simulació i modelització de fenòmens físics (Linn, 2003; Novell et al., 2003; Esquembre et al., 2004; Pintó et al., 2004; Pintó et al., 2010).

Finalment, també he fet una revisió de la literatura entorn del **paper de les interaccions socials** que es deriven de l'ús dels hipermèdia educatius integrats en entorns virtuals (Hrastinski, 2009; Jeong et al., 2010) i el seu paper en el cas específic de la Física (Bazley et al., 2002). Tot i la importància que entenc que té aquest camp, la necessitat d'acotar les dimensions del treball m'ha dut finalment a descartar entrar en profunditat en aquesta darrera línia de recerca.

Aquest conjunt de línies presentades es poden agrupar al voltant de tres grans camps teòrics, que he anomenat “Hipermèdia”, “Física” i “Aprentatge”. De la mateixa manera, he definit les seves interseccions, tal com mostro en un Diagrama de Venn en la figura 2. Aquest diagrama és el que utilitzaré com a guió per al desenvolupament teòric del treball. Es pot observar les tres esferes pertanyents als tres grans camps abordats i les seves interseccions, així com un marc general psico-socio-pedagògic i històric-cultural que les envolta.

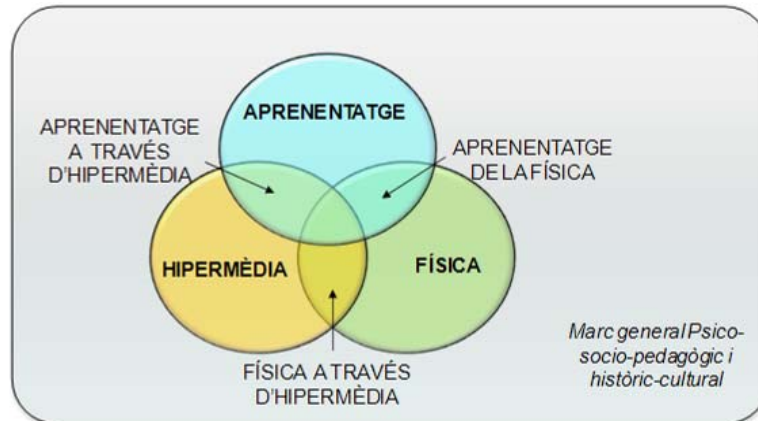


Figura 2: Camps teòrics que considero al llarg de la recerca

He volgut aclarir l'existència d'aquest marc més general perquè és només dins d'aquest des d'on es pot parlar de termes pedagògics dels quals jo hi passo per sobre, com pot ser la motivació, l'atenció, la distracció, l'autonomia personal, etc. De la mateixa manera, en algun moment del treball utilitzo termes psicològics com ara la càrrega i sobrecàrrega cognitiva, la memòria de treball o la capacitat sensorial, de nou sense entrar-hi en detall. També estic obviant la càrrega cultural que comporta, per exemple, la relació entre l'home i l'ordinador en tota la seva complexitat. És a dir, en el treball no em plantejo, per exemple, si un mateix text llegit en paper imprès o en una pantalla pot tenir diferents efectes sobre el lector a causa de la càrrega cultural que té cada interfície. Per aquest motiu, he considerat oportú aclarir que em trobo dins d'aquest marc psico-socio-pedagògic i històric-cultural, que és molt més ampli i complex i que s'escapa de la naturalesa d'aquest treball.

4. Marc teòric

Com ja he exposat en la presentació del problema de recerca, busco la intersecció entre els camps teòrics presentats (cadascun d'ells conformats a partir dels resultats de les línies de recerca consultades) per tal d'explicar com ha de ser el disseny de materials hipermèdia per a l'aprenentatge de la Física.

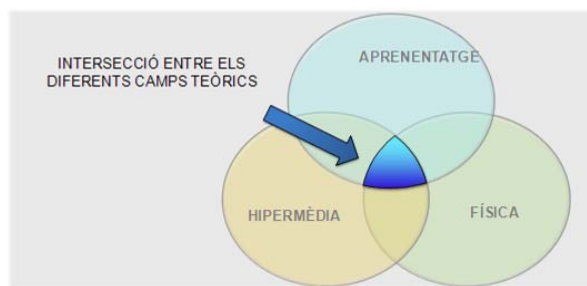


Figura 3: Representació de la intersecció entre els camps teòrics presentats.

Per dur a terme aquesta recerca parteixo de la premissa segons la qual la Ciència és un procés que es fa fonamentalment a través de l'anàlisi i la reflexió, ja sigui a partir de dades empíriques o sobre camps de coneixement que han estat establerts i validats per la comunitat científica, sempre i quan s'estableixin clara i sincerament els principis dels quals es parteix (Galamer, 1977). Amb el treball que aquí presento, pretenc contribuir des de la didàctica de la Física a la construcció del marc teòric situat en aquesta intersecció entre els camps teòrics prèviament presentats, i per fer-ho, utilitzo l'anàlisi i la reflexió de caire **lògic-deductiu**.

Existeixen dues grans tipologies de mètodes científics (mètode lògic i mètode empíric-analític), que juntament amb d'altres (mètode històric, hermenèutic, sistèmic, sintètic...) conformen el mètode científic. El mètode empíric-analític es fonamenta eminentment en l'ús de dades obtingudes empíricament, mentre que el mètode lògic es fonamenta en premisses convenientment establertes. Entenc que la majoria de recerques en didàctica de les Ciències es troben en la conjunció entre el mètode lògic i l'empíric, és a dir, en la família dels mètodes hipotètic-deductius, en el quals es parteix d'una hipòtesi fonamentada en les premisses establertes i aquesta es valida a través de les dades empíriques. En canvi, considero que aquest treball s'hauria de situar dins la família de mètodes lògic-deductius, és a dir, que **es basa en la recerca de principis desconeguts a partir de principis coneguts** o bé en **la recerca de conseqüències desconegudes de principis coneguts**.

Per tant, el procés d'obtenció de resultats que no són provinents de l'anàlisi empíric sinó de l'anàlisi lògic-deductiu pot ésser un procés de recerca vàlid. Perquè ho sigui, a més a més, ha de complir les condicions necessàries per poder parlar de recerca. He considerat que aquestes condicions són (Eco, 1997):

1. La recerca s'ha de realitzar **sobre un objecte definible i recognoscible per la comunitat científica**.

2. Ha de dir d'aquest objecte **coses que encara no hagin estat dites**, o bé revisar coses que ja s'hagin dit a partir d'òptiques diferents. En aquest sentit, una recerca pot ser una compilació sempre que es reuneixi i es correlacioni de manera orgànica les opinions expressades per altres sobre l'objecte d'estudi en qüestió.
3. Ha de ser **útil als altres**. Ha d'aportar algun element nou a la comunitat científica o bé ha de permetre plantejar treballs futurs.
4. Ha de ser **verificable i refutable**, presentant proves, explicitant els procediments per trobar-les, plantejant com s'hauria de procedir per dur a terme noves recerques i quin tipus de resultats refutarien la recerca duta a terme.

El que cal, per tant, és veure si aquestes condicions es contemplen en el treball que aquí exposo.

1. L'objecte d'estudi no és altre que els propis camps del coneixement que s'aborden al llarg del treball, i estan definits en la mesura en que es defineixen en la literatura.
2. Quant a la novetat dels resultats, es justifica per l'absència d'un marc teòric clar i explícit sobre com han de ser els materials hipermèdia per a l'aprenentatge de la Física. De fet, és aquesta absència el que dóna sentit al treball. Com he comentat anteriorment, existeixen molts llocs webs educatius, dels quals n'hi ha que són molt valuosos des del punt de vista didàctic, però les finalitats educatives que persegueixen sovint no estan explicitades o no han estat compilades de la forma amb que jo ho persegueixo. També es podria considerar que alguns dels resultats obtinguts són "de sentit comú", i que per tant, no suposen una novetat. Davant d'aquest argument només cal accedir a molts dels vincles que exposo al final de la bibliografia i observar alguns dels recursos educatius de Física disponibles, per veure fins a quin punt estan allunyats del suposat "sentit comú".
3. Pel que fa a la utilitat del treball, aquesta ha estat validada en la mesura en que alguns dels resultats de recerca obtinguts s'estan implementant actualment en el curs d'Acústica per a enginyers de la UPC, corresponent a la segona part del projecte (Pejuan et al., 2010). A més a més, aquesta recerca obre les portes a recerques de caire experimental. Els resultats que aquí exposo poden generar en el futur categories d'anàlisi per a la avaluació de llocs web o de llibres digitals, així com recerques a l'aula sobre la influència d'aquests recursos en els processos d'aprenentatge de l'alumnat.
4. Finalment, la recerca és verificable en la mesura en que es parteix de la literatura existent, i per tant, ha estat validada per la comunitat científica corresponent a cada camp del coneixement del qual obtinc els arguments inicials. Respecte la refutabilitat d'aquesta, ve donada per la naturalesa experimental de les recerques que es poden derivar dels resultats que aquí presento.

Aquesta definició de recerca lògic-deductiva i les condicions que determinen la validesa d'una recerca són el que conformen el meu marc teòric, perquè entenc que aquests són els elements clau que permeten fonamentar el meu procés d'investigació tal i com està dissenyat. És evident que es tracta d'un marc teòric metodològic i no d'un marc teòric amb definicions, idees claus i recerques prèvies, ja que tota aquesta informació està integrada dins del desenvolupament teòric.

5. Concreció dels objectius i de la qüestió de recerca

Els objectius que em proposo assolir en aquesta recerca per tal de resoldre el problema anteriorment plantejat són:

1. **Generar ponts conceptuals entre els camps teòrics** presentats a través de la literatura exposada, que permetin trobar els punts d'unió entre Física, aprenentatge i hipermèdia. A partir d'aquests punts d'unió pretenc:
2. **Proposar un model d'hipermèdia educatiu per ensenyar i aprendre Física**, que reculli les aportacions conceptuals de cadascun dels camps teòrics revisats i analitzats, que sigui coherent amb els elements definitoris del pensament físic i que sigui útil per a l'aprenentatge d'aquesta disciplina. Aquest model hauria de permetre:
3. **Assentar les bases per al disseny d'un itinerari per transformar materials educatius de Física en materials hipermèdia**. Aquest itinerari hauria de recollir les consideracions que un editor de materials hauria de tenir en compte per poder elaborar les seves pròpies transformacions.

A primera vista, aquests objectius de recerca poden semblar molt generals i indeterminats, ja que parlo d'hipermèdia sense especificar cap temàtica concreta de la Física. Tampoc esmento cap edat del públic al que van dirigits ni especifico si es tracta de materials per a cursos *online* o bé de materials educatius dissenyats per ser utilitzats a l'aula. Tanmateix, donada la naturalesa del treball no he volgut centrar-me en cap cas particular, ja que he prioritzat la generalitat dels resultats en comptes de la seva especificitat. Evidentment, com he exposat anteriorment, d'aquesta recerca se'n poden derivar d'altres molt més experimentals i que permetin concretar els resultats obtinguts amb tots els matisos i contextos que un vulgui.

Aquests tres objectius culminen en una única qüestió de recerca, que és:

Quines característiques han de tenir els hipermèdia per ser bons materials educatius per aprendre⁶ Física de manera profunda i flexible?

A continuació exposo la metodologia emprada per respondre aquesta qüestió de recerca.

⁶ He considerat oportú especificar que m'estic referint a un aprenentatge profund i flexible per evitar que la idea d'aprenentatge quedés buida de contingut. Defineixo aquests dos termes (profund i flexible) en l'apartat 7.2. de la memòria.

6. Justificació metodològica

En didàctica de les Ciències és molt important encabir les recerques que un fa dins d'un paradigma metodològic ben definit, per tal d'evitar que es generin discussions poc operants entorn de la recerca pel fet de no compartir els punts de partida. És per això que en el Màster de Recerca s'ha donat una especial rellevància a haver de definir adequadament i rigorosament la metodologia que s'utilitzi en cada recerca.

En el meu cas, he partit d'un marc teòric metodològic en el qual he exposat i justificat per què no segueixo un procés empíric sinó lògic-deductiu. Aquest mètode lògic-deductiu es pot considerar recerca teòrica o teòrico-conceptual, ja que es mou a través de les fronteres entre diferents disciplines i els seus punts d'intersecció, de crisi i de contacte⁷. Si no aprofundeixo més en la definició d'aquesta metodologia és per dues raons. Per un costat, potser les metodologies de recerca en el camp de les ciències socials no estan prou definides o delimitades com per encabir-s'hi d'una manera rotunda. Per l'altre, entenc que estic davant d'un treball de màster i no d'una tesi doctoral, i si aquest treball acaba derivant en el principi d'una tesi, ja tindrè ocasió de construir un cos metodològic molt més robust a mesura que desenvolupi la recerca.

Per tots aquests motius, considero més important exposar el procediment metodològic que he seguit que no pas etiquetar-lo amb un nom o altre. Per fer-ho, he dividit el conjunt de procediments emprats al llarg de la recerca en tres apartats. El primer explica les fonts primàries que he utilitzat en l'obtenció de dades i de bagatge necessari per dur a terme aquesta recerca. Posteriorment, exposo el procés de categorització i classificació d'aquestes dades. Finalment, explico el procés d'anàlisi i interpretació dut a terme, el qual he anomenat **desenvolupament teòric**.

6.1. Obtenció de dades primàries

Puc parlar de tres fonts primàries d'obtenció de dades, i tot i que no són dades experimentals, sí que són dades conceptuais. Aquestes són les següents:

1. **La recerca bibliogràfica**, que m'ha permès determinar els camps teòrics d'estudi i recollir totes les aportacions provinents d'aquests camps. Donada la naturalesa del treball, aquesta tasca és especialment important, ja que, al no tenir resultats experimentals, qualsevol afirmació que faci ha d'estar adequadament citada o justificada amb cites bibliogràfiques.
2. **El treball de discussió i disseny de llocs web**. Vaig participar en el procés de discussió d'un esborrany de lloc web educatiu sobre Energia que em va servir com a primera presa de contacte amb el món dels hipertextos. Posteriorment, en els darrers mesos, he pogut treballar conjuntament amb professors del GIEF en un web educatiu d'acústica, que es publicarà al llarg de l'estiu. El fet de treballar en la construcció d'un lloc web simultàniament a la

⁷ He extret aquesta definició de la recerca en filosofia, filologia i lingüística. De totes maneres, trobo que defineixien molt bé la naturalesa d'una recerca no empírica.

revisió bibliogràfica m'ha obligat a organitzar, estructurar i reinterpretar constantment la literatura consultada. Moltes de les categories que he construït no provenen exclusivament de la teoria existent, sinó de l'encaix entre aquesta teoria i el procés que he hagut de seguir.

3. **L'anàlisi de llocs web i recursos digitals a la xarxa.** Una de les opcions que vaig considerar els primers mesos de recerca era analitzar una mostra de webs i determinar les seves característiques. Posteriorment, vaig canviar l'orientació del treball donant-li el caire teòric que aquí presento. Tot i així, el procés d'observació d'aquests llocs no ha estat en va, sinó que m'ha permès donar significat als conceptes abordats en la literatura especialitzada (com ara els vincles, l'organització web o les simulacions interactives). Aquesta revisió m'ha permès fer un informal "*state of the art*" sobre el món de l'ensenyament de la Física a través d'Internet, imprescindible per aclarir exactament de què estic parlant quan em refereixo als hipermèdia educatius de Física i per determinar el problema de recerca.

6.2. Classificació i categorització de les dades

La recollida de dades bibliogràfiques ha comportat un tractament de les informacions obtingudes mitjançant fitxes bibliogràfiques, que he realitzat tant en un arxiu Word com amb el programa de gestió bibliogràfica *EndNotes*. He categoritzat la bibliografia en funció del seu origen (si els articles provenen del camp del *Human-Computer Interaction*, del camp de l'anàlisi de llocs web, del camp de naturalesa de la Física, del camp de l'estudi sobre *Physlets*, etc.) i també en funció dels aspectes que aborden. En la figura 4 exposo un exemple simplificat d'aquesta classificació en files i columnes.

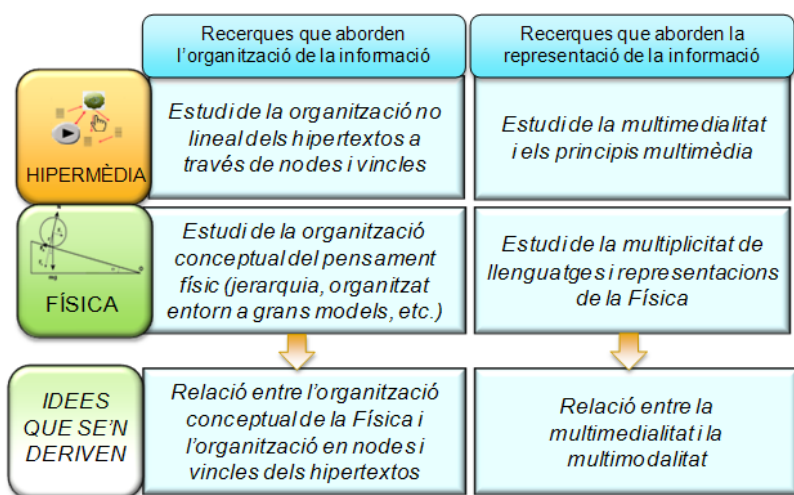
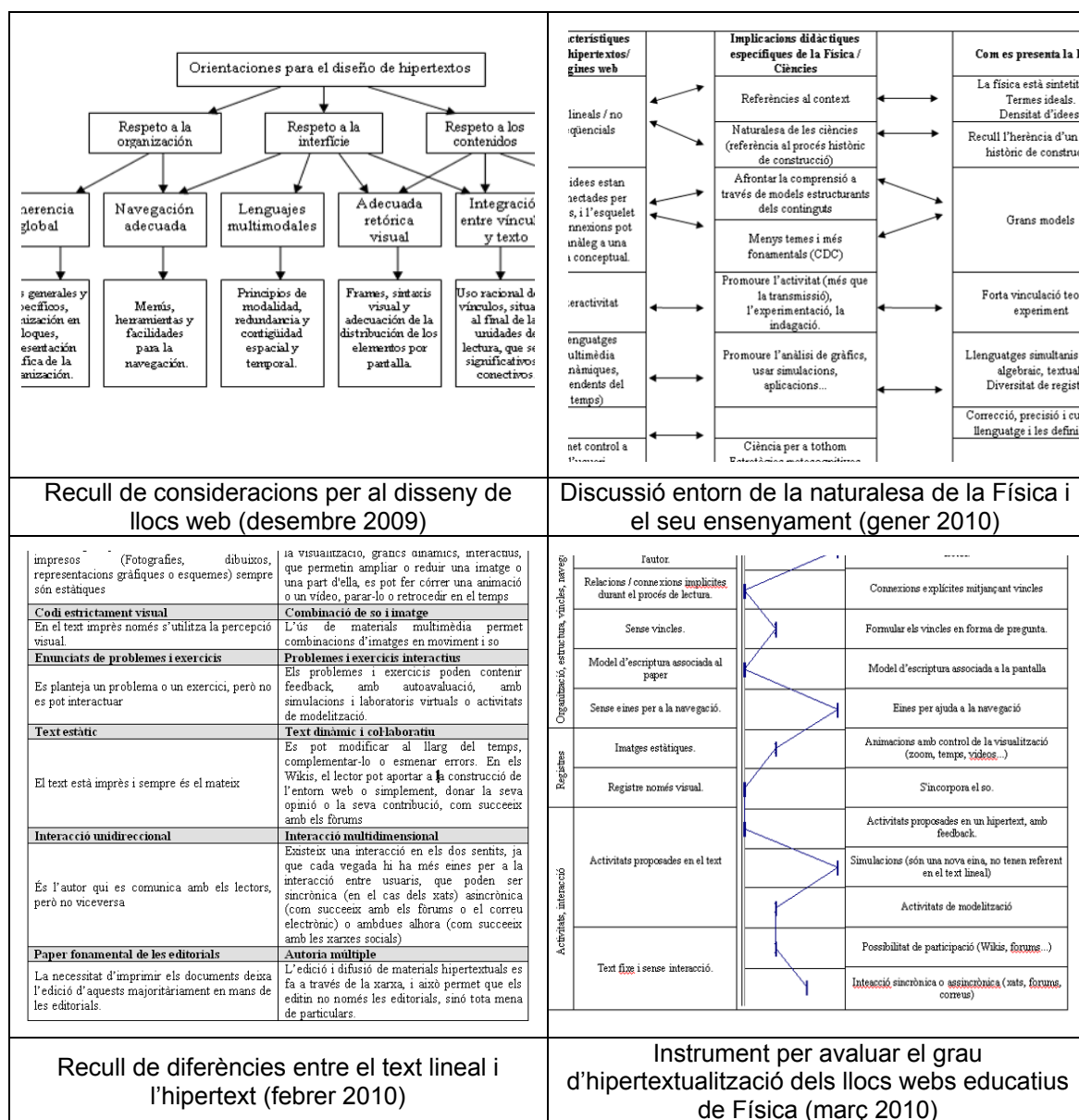


Figura 4: Exemple de classificació de dades en files (camps teòric del qual provenen) i columnes (aspectes que aborden), així com les conseqüències que es deriven d'aquesta interacció.

Aquesta classificació ha permès iniciar un procés d'interrelació entre els diferents camps teòrics, així com un accés molt més àgil als articles, ja que a causa del volum de bibliografia consultada, l'accés a aquesta hauria estat molt més costosa.

6.3. Procés de construcció teòrica

Tot el volum d'informació recollida i la necessitat d'estructurar-la d'alguna manera m'ha portat, al llarg del temps, a la necessitat d'integrar i organitzar d'alguna manera la informació provinent dels diferents camps teòrics que estava tocant. Aquest procés no ha estat ni simple ni lineal, ja que, com succeeix sovint, els objectius i la metodologia es van reformulant constantment al llarg del treball. En els darrers mesos he formulat diferents enfocaments que finalment he deixat de costat o que he acabat reformulant en la versió definitiva que presento en aquesta memòria.



Taula 2: Versions preliminar de la construcció teòrica al llarg de la recerca.

Després d'acumular diverses versions d'encaix entre la Física, l'aprenentatge i els hipermèdia vaig acabar considerant que calia definir un conjunt de qüestions prèvies a la qüestió de recerca principal, "Quines característiques han de tenir els hipermèdia per ser bons materials educatius per aprendre Física?" Aquestes qüestions prèvies havien de tenir un doble objectiu:

- Per un costat, havien de definir explícitament l'objecte d'estudi del que dispo. Per tant, havia de formular-les de manera que em servissin per dir exactament a què m'estava referint quan parlava d'hipermèdia, de Física i d'aprenentatge.
- Per l'altre, aquestes preguntes havien d'ajudar a presentar el procés de desenvolupament del treball d'una manera transparent i alhora entenedora per qualsevol lector que no hagués viscut aquest procés de construcció teòrica. Per tant, havien de ser preguntes que es poguessin contestar de manera sintètica.

Per aquest motiu, vaig decidir dividir totes aquestes qüestions en tres parts convenientment separades, construint així un guió per dur a terme tot el desenvolupament teòric del treball. Per començar, calia **un desenvolupament teòric inicial** per definir i classificar tots aquells termes necessaris, basant-me en la revisió bibliogràfica i en la meua pròpia experiència com a usuari d'aquests materials, com a docent i com a físic. Per tant, tal com mostro en la figura 5, vaig començar amb tres qüestions independents, cadascuna d'elles referides a un dels tres camps teòrics que intervenen en el treball. Tot seguit, calia combinar els diferents camps, i per això vaig formular les tres preguntes que corresponen a **la segona part del desenvolupament teòric**. Aquesta vegada, però, les preguntes no són independents, sinó successives, ja que cadascuna complementa a l'anterior en algun aspecte. Finalment, calia **sintetitzar tots els resultats** obtinguts amb la resposta a cadascuna de les preguntes, podent respondre així a la pregunta principal de recerca.

Mostro tot aquest procés en la figura 5:

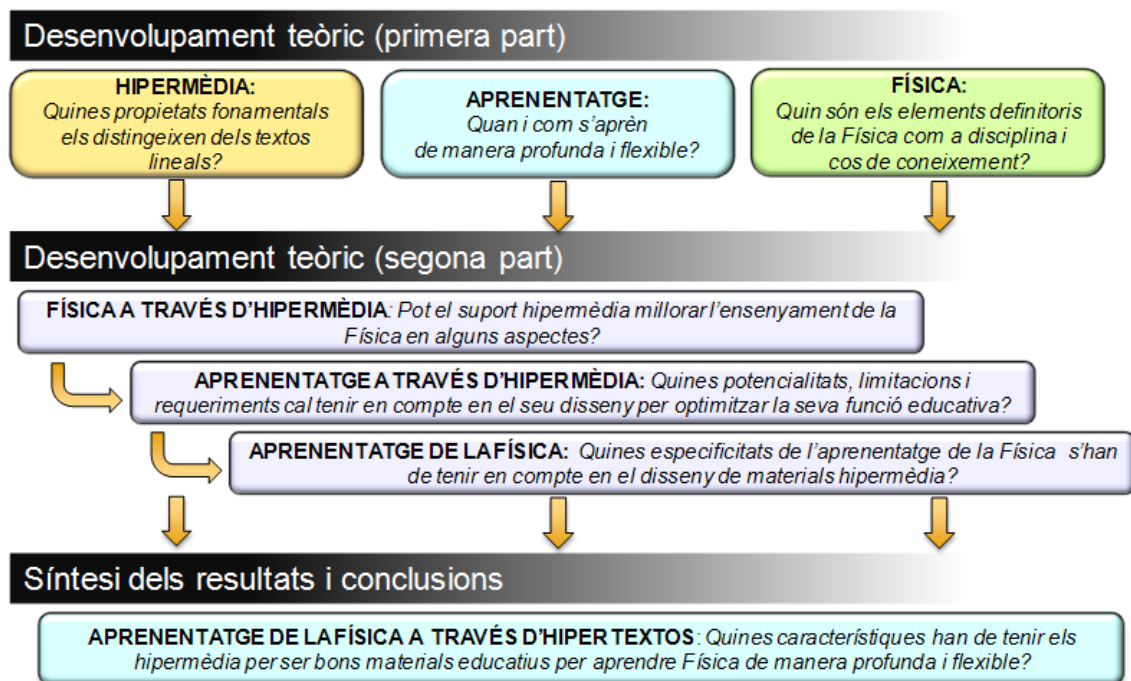


Figura 5: Desglossament de la pregunta principal de recerca en preguntes prèvies

A partir d'aquest punt, dedico la resta de la memòria a exposar aquest desenvolupament teòric en els seus dos apartats i a exposar les conclusions que se'n deriven.

7. Desenvolupament teòric (primera part)

Amb aquest primer apartat del desenvolupament teòric pretenc establir les bases per clarificar en cada moment a quins conceptes o a quines idees m'estic referint. Per fer-ho, pretenc respondre a les qüestions inicials anteriorment formulades:

7.1. *Quines propietats fonamentals distingeixen els hipermèdia dels textos lineals?*

7.2. *Quan i com s'aprèn de manera profunda i flexible?*

7.3. *Quin són els elements definitoris de la Física com a disciplina i cos de coneixement?*

Per respondre aquestes preguntes dono les definicions i les classificacions que considero oportunes i necessàries per al treball, ja siguin a partir de les aportacions més rellevants de la literatura consultada o de les definicions i categoritzacions que jo mateix he establert.

En aquests cas, l'ordre en que responc a les preguntes és arbitrari, ja que com que la literatura consultada prové de camps independents, el procés d'adquisició de la informació no ha estat successiu sinó simultani⁸.

Començo exposant la definició d'hipermèdia i destaco les seves potencialitats a través de les diferències que hi ha amb els textos lineals. A continuació, defineixo l'aprenentatge a través dels punts que considero fonamentals perquè aquest es dugui a terme. Tot seguit, exposo els trets definitoris de la Física com a disciplina i cos de coneixement. Al final de cadascun d'aquests subapartats presento un quadre resum que utilitzo per respondre cadascuna d'aquestes preguntes inicials.

7.1 Definició i propietats fonamentals dels hipermèdia

Tal com he exposat anteriorment, un hipertext (*etimològicament, més enllà del text*) és un document o un conjunt de documents que es llegeixen de manera no lineal, ja que les seves parts estan connectades a través de vincles (enllaços), i per tant, s'estableix una interacció entre el document i el lector. Quan aquests tipus de documents contenen elements multimèdia s'anomenen **hipermèdia**.

Origen i definició

Una de les definicions amb més consens diu que "*Un hipertext és un enfocament de la gestió de la informació en la qual les dades s'emmagatzemen en una xarxa de nodes connectats per vincles (...) que poden contenir text, gràfics, àudio, vídeo (...) i on l'usuari és lliure d'explorar i assimilar informació de diferents maneres*" (Balasubramanian, 1994). Per tant, hipertext no és més que un model teòric de gestió de la informació, tot i que normalment s'utilitzi com a sinònim de lloc web o de text digital interactiu. Com ja he esmentat en els antecedents de recerca, existeix una literatura sobre hipertextos i altres documents hipermèdia molt heterogènia, que pot

⁸ Com s'argumenta en el discurs sobre hipertextualitat, és la necessitat d'exposar els resultats en un paper el que força a una presentació lineal del contingut encara que sigui poc fidel al veritable procés de raonament humà (Balasubramanian, 1994).

anar des de la lectura no lineal de textos fins al disseny d'interfícies digitals interactives, passant pels principis multimèdia (Mayer, 1997).

Un dels majors experts en literatura electrònica, Wardip-Fruin (2006), diu que per entendre el terme hipermèdia cal entendre el seu origen⁹. De fet, és un terme que s'utilitza des de mitjans del s. XX. El 1945 V. Bush va plantejar en el seu article “*As we may think*” un espai fictici denominat *Memex* (Salinas, 1994; McKnight et al., 1996), una xarxa virtual capaç d'emmagatzemar tot tipus de documents interrelacionats i de fàcil accés per a qualsevol usuari a través de màquines imaginàries. En els anys seixanta T. Nelson va idear una única base d'informació internacional denominada *Xanadú*, i va parlar del “*docuvers*” com l'Univers de documents i informacions entrellaçades (Lamarca, 2006).

Durant els anys setanta i vuitanta van existir molts projectes vinculats als primers ordinadors, que van construir xarxes virtuals precursors de l'actual Internet. Però, sense dubte, el gran canvi fou l'aparició del llenguatge HTML, “*HyperText Markup Language*”, el 1993, que va revolucionar l'encara incipient Internet i va permetre dissenyar i llegir els primers hipertextos tal i com els coneixem avui en dia, el que anomenem “pàgines web”. Des d'aleshores, ha aparegut una infinitat de tecnologies multimèdia (so, vídeos, fotografies i imatges animades amb llenguatges específics com Flash o les aplicacions interactives), així com xarxes i interfícies de comunicació i sociabilització, que han agafat el nom de Webs2.0 (ja hi ha qui parla dels Web3.0). Per tant, actualment, parlar d'hipermèdia vol dir parlar d'una casuística de documents, interfícies i recursos gairebé il·limitada.



Figura 6: Evolució històrica dels hipertextos/ hipermèdia

Per aquest motiu, davant d'aquesta diversitat, em vaig proposar veure quines eren les propietats fonamentals dels hipermèdia, és a dir, que és allò que veritablement els distingia dels materials analògics (text i altres representacions visuals) presentats en format imprès.

La resposta a aquesta pregunta ja l'he presentada en l'apartat 2 de la memòria, quan he esmentat que els materials hipermèdia passaven per ser digitals, hipertextuals, multimèdia i interactius. D'aquests quatre aspectes fonamentals, abordaré els tres últims, ja que la “naturalesa digital” hi és tan implícita que el seu estudi es fa molt difícil

⁹ Altres orígens de la no-linealitat són l'existència de seqüències no-lineals d'informació, com les notes al peu, i fins i tot, els contes i novel·les que permeten una lectura no lineal, com les de Julio Cortázar o les aventures de “segueix la teva pròpia història” (Russell, 1998; Rueda, 1999). Tampoc cal oblidar que en el rerefons de tot plegat hi ha la manera que tenim els humans de comunicar-nos, que sovint és no lineal (anem i tornem a través del discurs) i multimodal (utilitzem tota mena de codis comunicatius per expressar-nos).

en els termes que jo proposo. Potser tindria sentit fer-ho si estudiés la càrrega cultural de l'ús de TICs a l'aula o si abordés a fons la interacció a través de la pantalla o el teclat, però com ja he esmentat, cap d'aquests estudis estan contemplats en la meua recerca.

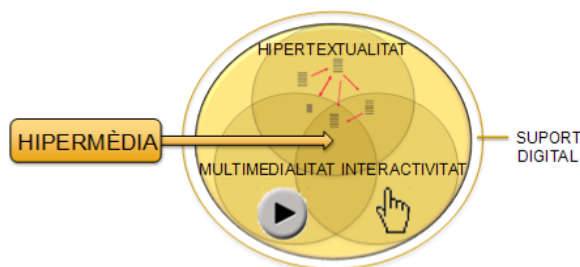


Figura 7: Les potencialitats de l'hipermèdia respecte al text clàssic es divideix en la hipertextualitat, la multimèdia i la interactivitat. El suport digital és un element intrínsec que no abordo en el treball.

Com mostro més endavant, les fronteres entre què es considera interactiu i què es considera multimèdia no estan clares i depèn molt de les fonts d'origen. Per aquest motiu, en parlar de multimèdia em centraré en "els canals amb que la informació arriba a l'usuari", mentre que en la interactivitat parlaré de "quin tipus de respostes dona el sistema informàtic a les accions del lector".

7.1.1. Hipertextualitat

La hipertextualitat és la propietat per la qual un document es pot llegir de manera no lineal o no seqüencial a través de vincles que connecten les diferents unitats d'informació anomenades nodes. Per estudiar les seves propietats fonamentals, he establert quatre grans categories que determinen les diferències entre el text lineal i l'hipertext. Aquestes són:

- l'organització de l'hipertext en unitats d'informació independents,
- la unitat d'accés centralitzat al contingut,
- l'ús de vincles
- la capacitat del lector de determinar l'accés a aquest contingut.

a) Organització en pàgines web en comptes de pàgines analògiques

Els textos dissenyats per ser impresos han d'adaptar la seva organització al format del paper. En els llibres de text escolars, les unitats d'informació estan exposades una darrere d'una altra, i sovint és el contingut el que s'acaba adaptant a la mida i distribució de les pàgines. L'organització seqüencial comporta que el lector sovint doni més rellevància a la pàgina en la qual es troba que al tema que està treballant. Quan el suport no és físic sinó digital, no existeix aquest condicionant. En els hipertextos el lector accedeix a cada node de forma independent mitjançant una pàgina web que conjuntament amb d'altres, conformen un lloc web. D'aquesta manera, cada pàgina no correspon a un número, sinó a una unitat d'informació determinada. El procés de lectura, en comptes de passar pàgina, es converteix en un procés de navegació en el que el lector arriba a prendre decisions en funció del camí que vol recórrer (Salmerón, 2006).

El fet que el contingut d'un hipertext s'organitzi en una estructura de nodes i vincles implica que poden existir diferents patrons hipertextuals en funció d'aquesta organització. Alguns estudis realitzats entorn de la no-linealitat dels documents hipertextuals, alguns dels quals previs a l'ús estès del HTML, (Jonassen, 1986; McKnight, 1991; Oliver, 1995; Wang, 1998; Rueda, 1999) han posat èmfasi en l'organització dels continguts d'un hipertext i han proposat diferents models per interpretar la manera que s'estructuren les seqüències d'informació. Es tracta de models generals que descriuen els diferents camins i seqüències d'informació que es poden desenvolupar en un document hipertextual. Tot i que no existeix una única manera de descriure aquesta organització, hi ha un relatiu consens en que un hipertext pot ser més aviat de lliure associació, quan hi ha molts vincles que interconnecten tots els nodes; o més aviat estructurat, quan existeixen uns patrons de navegació més determinats. L'hipertext jeràrquic és aquell on l'estructura de nodes i vincles conformen un graf en forma d'arbre.

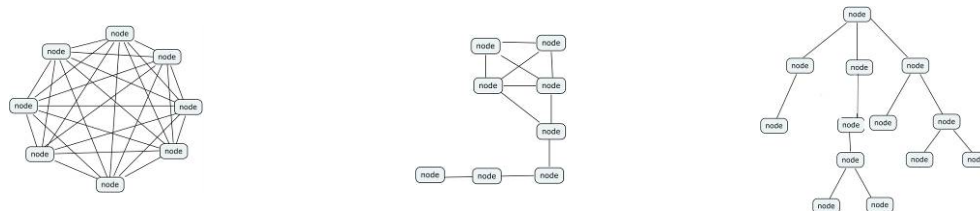


Figura 8: Diferents estructures hipertextuals: de lliure associació (esquerra), semiestructurat (centre) i jerarquitzat (dreta).

Posteriorment, quan abordi l'aprenentatge a través de la hipertextualitat es veurà quins d'aquests patrons són més adequats per a cada tasca.

b) La unitat d'accés centralitzat al contingut

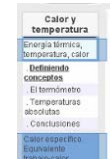
En els textos analògics, l'índex és seqüencial, i està especialment dissenyat per saber en quin ordre es presenta el contingut i la pàgina en la qual es troba cada unitat d'informació. L'índex acostuma a estar al principi del document i en molts casos se li dóna molt poca rellevància, de manera que l'organització de la informació acostuma a quedar en un segon lloc. En els hipertextos, succeeix quelcom diferent. Atès que no té perquè haver-hi un únic sentit de lectura, l'accés centralitzat al contingut (és a dir, una plana web des d'on s'accedeix a la unitat d'informació que es vulgui) pren un paper molt important per a la navegació i per poder visualitzar adequadament l'organització dels continguts. Basant-me en la definició inicial de Lamarca (2006) i de la recerca personal de llocs web, considero adequat fer la següent distinció entre les maneres d'accedir al contingut d'un hipertext (taula 3).

Diferents tipus d'accés centralitzat al contingut d'un hipertext	
<p>Glossari: normalment ordenat en un llistat ordenat alfabèticament. Aquesta representació facilita l'accés ràpid a un contingut determinat.</p>	

Núvols de paraules: De l'anglès cloudwords, és una eina que s'utilitza darrerament en el disseny de molts webs. Apareixen els temes (topics) més utilitzats en un lloc web, i la mida de cada paraula depèn de la rellevància de cadascun d'aquests temes.



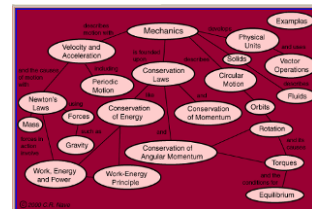
Taules de contingut: són anàlogues a les taules de contingut dels textos lineals, però estan presents en pantalla (normalment en un *frame* vertical). Poden ser plegables i desplegable, per agilitzar la visualització d'apartats i subapartats.



Mapa web: apareixen els continguts organitzats en temes i subtemes, fent èmfasi en l'agrupació dels continguts mitjançant blocs d'informació. Combina l'accés ràpid a la informació amb la jerarquia, i de vegades fins i tot utilitzant la distribució espacial de la pantalla per a organitzar els continguts. Els mapes web solen ser exhaustius i apareix tota la informació continguda en l'hipertext.



Mapa de navegació: tot i que no sempre es defineix així, és aquell en el qual, a més dels nodes, també es presenten els vincles entre aquests. En aquest sentit, un mapa de navegació és anàleg a un mapa conceptual, ja que no només es presenten les parts sinó que exigeix fer explícites les relacions entre aquestes.



Taula 3

Aquests diferents sistemes tenen clares implicacions en el model de navegació que promouen. Mentre els núvols de paraules són útils per veure ràpidament el contingut més rellevant d'un lloc web, els mapes web en permeten una revisió més acurada i exhaustiva. Per tant, aquests últims seran més útils quan el lector tingui un especial interès per trobar alguna informació determinada. Tot i així, exposaré aquestes diferències de manera més detallada quan abordi l'aprenentatge a través de la hipertextualitat.

c) Els vincles com a eina de navegació i integració entre les parts.

El fet de presentar documents en format paper porta a separar les unitats i presentar-les de forma aïllada o bé una darrera de l'altra. Això de vegades comporta que no es qüestioni el perquè es presenta una informació o altra, i normalment la informació acaba reproduint el format "llista" (Jacobson et al., 1996; Puntambekar et al., 2005).

Per altra banda, la incorporació d'enllaços en un text pot modificar el model de lectura en el paper, ja sigui ajudant a la connexió entre idees (Jonassen, 2006) o bé desorientant al lector (Amadiieu et al., 2005). A més, es pot enllaçar amb materials externs al document, de manera que la lectura d'un hipertext queda molt més oberta del que ho és en un text analògic.

Amb els vincles, els diferents continguts poden estar molt més integrats gràcies al fàcil accés d'una unitat a una altra. És a dir, és molt més factible anar, tornar, avançar, retrocedir, pujar, baixar, veure més en detall, tornar a la pàgina principal.

Existeixen diferents maneres de classificar els vincles segons la seva funció o segons la seva presentació en pantalla i distribució en el text (vincles convergents, vincles divergents, vincles de detall, vincles bibliogràfics, vincles d'exploració, etc.). A continuació exposo una classificació dels principals tipus de vincles que s'acostumen a trobar en els llocs webs existents en la xarxa. Tot i haver repassat la literatura existent, aquesta distinció entre tipus de vincles és una proposta que es basa en la meua pròpia experiència com a usuari d'hipertextos.

Diferents tipus de vincles que trobem en llocs webs educatius	
Integrats en la unitat d'accés centralitzat a la informació. Són els vincles que hi ha en els índexs, taules de contingut, mapes web, etc. Tots els vincles acostumen a estar junts, i serveixen per accedir a qualsevol part del document de manera centralitzada (és a dir, des d'un sol punt s'accedeix a tots els altres).	Múltiples vincles integrats en el text en forma de paraula ressaltada amb un color diferent o amb un subratllat. És el model que utilitzen webs com Viquipèdia, de manera que el lector pot decidir seguir llegint el text o bé accedir a qualsevol dels vincles. Alguns autors els anomenen vincles divergents o vincles d'exploració.
<p>Movimiento rectilíneo y uniforme</p> <p>Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado</p> <p>Interpretación geométrica de la derivada</p> <p>Integral definida</p>	<p>L'electromagnetisme és la part de la física que estudi elèctrica alhora que són afectats per la presència i el m</p> <p>El camp magnètic es produeix pel moviment de les càrrega magnètica del mateix tipus que la dels imants.</p> <p>Un camp magnètic canviant produeix un camp elèctric, generadors elèctrics, els motors elèctrics i els transformadors.</p>
Vincles situats al final d'un text o d'una unitat de text, com ara un paràgraf. Estan dissenyats per encaminar la lectura en un sentit determinat i s'acostumen a formular en una oració o un conjunt de paraules. Poden ser molt útils per seguir una lectura coherent del text.	Vincles amb icones dissenyats per desplaçar-se a través del document. Es basen en relacionar l'estructura del document a una forma física, i per això es parla d'avançar (dreta), retrocedir (esquerra), veure en detall (baixar), tornar a l'inici (pujar), etc. Son molt corrents en els hipertextos altament estructurats.
<p>en reposo, el centro de masas del sistema no tiene aceleración (está en reposo). La Luna está orbitando alrededor de la Tierra y, para que el centro de masas de sistema Tierra - Luna permanezca en reposo, el centro de la Tierra ha de estar también en movimiento con respecto a dicho centro de masas.</p> <p>Este fenómeno (denominado <i>wobbling</i> en inglés) se da entre pares de cuerpos celestes de distinta naturaleza: entre un planeta y su luna (o sus lunas), entre un sol y sus planetas... Dependiendo de las masas de ambos el centro de masas del sistema estará situado entre los dos cuerpos, o bien en el interior de alguno de los dos y, por tanto, el movimiento del sistema de dos cuerpos será diferente en cada caso. El <i>wobbling</i> se emplea para detectar planetas que gravitan en torno a estrellas lejanas.</p>	 <p>Movimiento rectilíneo</p>
Vincles que serveixen per accionar algun element interactiu, i no tant per navegar i moure's a través del document. N'hi ha de moltes menes i tenen funcions molt diferents, que van des d'obrir i tancar pestanyes, activar una reproducció, fer córrer una aplicació, etc.	Vincles integrats en mapes d'imatges, s'accedeix a ells accionant una part de la imatge amb el ratolí. Son útils per fer representacions visuals on es pugui accedir a aquestes parts (parts d'un mapa, parts d'una màquina, parts d'una cèl·lula, etc.).
<p>Enunciats Autoavaluació</p>	

Taula 4

Dels diferents tipus de vincles existents, cadascun té unes funcions diferents. Mentre que els vincles d'exploració són útils per navegar a través de gran quantitat d'informació en poc temps (en una fase d'exploració del contingut), els vincles de desplaçament acostumen a promoure una lectura molt seqüencial, i per tant, donen poc joc a la hipertextualitat. En l'apartat d'aprenentatge a través d'hipertextos argumento per què cal l'ús de vincles ben formulats, que siguin significatius i que ajudin a entendre les relacions entre les parts d'un document.

d) La intervenció del lector en l'ordre de lectura

Tots aquests tipus de vincles poden arribar a modificar profundament el procés de lectura (Jacobson et al., 1996; Puntambekar et al., 2005). En els textos lineals, l'ordre amb el qual es llegeixen els continguts l'imposa la pròpia seqüència del document determinada per l'autor (Walker, 1987; McKnight, 1991), tot i que evidentment qualsevol lector pot accedir a un llibre analògic a partir de la pàgina que vulgui. En qualsevol cas, el perquè cada informació en el text lineal està on està sovint té poca rellevància perquè el lector no té perquè qüestionar-lo. En canvi, en els hipertextos, el lector pot triar anar a un lloc o altre, tenint així un paper més actiu en la navegació. El fet de tenir diversos camins simultanis pot portar al lector a prendre una decisió, tot i que l'accionar un enllaç sigui sovint un comportament mecànic. De totes maneres, de vegades el lector pot arribar a preguntar-se quina informació es trobarà o quins requeriments trobarà accionant cadascun dels enllaços de que disposa. Tal com proposa de Jong (de Jong et al., 2002), es pot arribar a aconseguir que “el lector hagi de parar a pensar-se cap a on vol anar”.

7.1.2. Multimedialitat

Tot allò que anomenem “multimèdia” està actualment present en molts aspectes de la nostra vida quotidiana. Disposem d'ordinadors amb softwares per editar so i imatge, accés a bases de dades digitals de fotografies, vídeos i cançons, tenim telèfons mòbils amb la possibilitat d'enviar-nos MMS, tenim a l'abast videojocs de tota mena, etc. Per aquest motiu, el terme “multimèdia” pot voler dir alhora moltes coses, i si no s'utilitza una definició acurada pot acabar sense voler dir res, ja que gairebé tot allò digital és multimèdia. *Però què és la multimedialitat?*

Com he esmentat anteriorment, les fronteres entre la terminologia utilitzada (multimedialitat, multimodalitat, interactivitat, etc.) no estan clares¹⁰. Per exemple, en la darrera Conferència *Multimedia Physics Learning and Teaching* (Girwidz, 2010) es presentà la multimedialitat com la combinació de:

1. múltiples canals comunicatius (*multimodality*)
2. múltiples llenguatges (*multicoding*)
3. múltiples eines interactives (*interactivity*)

En el meu cas, en canvi, he volgut distingir tots tres conceptes. El primer és al que jo anomeno **multimedialitat** i no multimodalitat, ja que és el que he trobat que s'utilitza

¹⁰ Diferents institucions internacionals com MPLT o MERLOT han elaborat diversos llistats de criteris per avaluar “recursos multimèdia” per a l'aprenentatge de la Física i anualment publiquen un ranquik dels recursos més ben valorats. Tot i la quantitat d'informació tractada (centenars de llocs web), en poques ocasions defineixen la terminologia utilitzada.

des de finals dels anys seixanta per referir-se a la capacitat que té una interfície per representar una informació determinada a través de diferents canals comunicatius¹¹. En canvi, la multiplicitat de llenguatges i registres està molt més relacionat amb el que, des de la didàctica de les Ciències s'anomena **multimodalitat**. Entenc que aquesta fa referència a la multiplicitat de llenguatges amb que es dona una informació (tot i que no existeixi una única definició de mode comunicacional), no només al canal amb que es transmet.

Per exemple, si algú està escoltant per la ràdio a un locutor mentre sona una música de fons, està rebent una informació multimodal, però segons la definició anteriorment proposada, no és una informació multimèdia, ja que només li arriba pel canal auditiu. En canvi, veure la televisió sí que és multimèdia (vista i oïda) i també multimodal (mode verbal oral, mode visual gestual, etc.) És a dir, la multimodalitat no implica necessàriament multimedialitat, però aquesta acostuma a permetre una multimodalitat molt més rica que la que es produeix en la comunicació unimedial.

Per acabar, tot i la classificació anteriorment exposada, considero que abordar la **interactivitat** hauria de ser una tasca **independent** de la multimedialitat. Per aquest motiu, destinaré un subapartat diferent (el 7.1.3) a parlar d'aquesta propietat dels hipermèdia.

Per exemple, quan s'està veient un vídeo, estudiar la multimedialitat d'aquest podria ser veure la combinació del so amb el text i les imatges que apareix per pantalla. En canvi, estudiar la interactivitat suposaria analitzar la capacitat que té el lector de modificar allò que veu i sent.

Un cop feta aquest aclariment, el que cal, per tant, és determinar quines són les diferències fonamentals entre els materials multimèdia i els textos impresos, per poder veure, més endavant, quines d'aquestes diferències comporten canvis en els modes de representació dels textos clàssics. Des del punt de vista de la multimedialitat, aquestes diferències son dues, la incorporació del canal auditiu i la incorporació de dinamisme en el canal visual.

a) La incorporació del canal auditiu

Al tenir un suport auditiu (altaveus o auriculars), la informació que en els textos clàssics rebem a través de la vista, pot ser rebuda a través de la oïda, i aquest canal d'entrada és independent del canal visual. Això comporta que la capacitat que té el lector de processar una informació que li arriba a través de dos canals diferents sigui molt més complexa que la informació que arriba amb un de sol. Per tant, caldrà veure en quins casos la incorporació de so millora o empitjora el processament de la informació (Moreno et al., 1999).

b) L'ús de dinamisme en el canal visual

¹¹ R. Mayer, un dels teòrics més reconeguts en l'estudi dels entorns multimèdia, ha parlat en els darrers anys de dos canals independents d'entrada i processament de la informació en la ment humana, que són el canal visual i l'auditiu. A partir d'aquests dos canals i de les teories que defineixen el processament de la informació a la ment, se'n deriven un conjunt de principis multimèdia als que faré referència en diferents moments del treball.

Tot i que en els textos impresos pot existir una varietat de registres visuals (fotografies, paraules, diagrames, etc.) allò que es veu és estàtic. El suport digital i la representació per pantalla d'aquests registres visual permet que aquests esdevinguin dinàmics (Austin, 2009). Atès que no existeix una definició concreta del terme "dinamisme", em referiré a aquest concepte com la capacitat d'una interfície de canviar les propietats d'un element visual (o un conjunt d'elements visuals) en un sentit determinat. Aquests canvis poden ser:

- Aparició o desaparició d'elements visuals.
- Variació de la mida, la forma o la posició d'elements visuals.
- Variació del color o d'altres propietats visuals d'algun element (intensitat lumínica, textura, etc.).

Aquests dos canvis respecte el text imprès (dinamisme i canal auditiu) modifiquen la capacitat de representar la informació que pugui aparèixer en un text imprès. A grans trets, un document imprès conté **text pròpiament dit** (és a dir, paraules, oracions, equacions algebraïques, valors numèrics, etc.), així com **representacions visuals** (dibuixos, fotografies, diagrames, gràfics matemàtics, figures geomètriques, etc.).

Per tant, combinant el so i el dinamisme amb el text i les representacions visuals apareix una gran varietat de combinacions potencials. En la taula 5 exposo les combinacions que es poden fer acompanyades d'alguns dels exemples que es poden trobar en els materials hipermèdia:

Mostra de diferents combinacions de registres i canals comunicatius		
Text animat	RV animades	Text amb suport auditiu
<i>Exemple: Banners o marquees</i>	<i>Exemple: Imatges .GIF, o animacions Flash</i>	<i>Exemple: Text llegit i narrat simultàniament</i>
RV amb suport auditiu	Text i RV animades	Text i RV animades amb suport auditiu
<i>Exemple: Diapositives amb música de fons</i>	<i>Exemple: Animacions amb suport escrit</i>	<i>Exemple: Vídeos amb so i transcripció escrita</i>

Taula 5

Quines implicacions tenen aquestes combinacions pel lector d'uns materials hipermèdia? Milloren l'atenció o tan sols distreuen? Quan ajuden a comprendre allò que s'està llegint, veient i escoltant? Aquestes qüestions seran abordades més endavant, quan aparegui la discussió sobre l'aprenentatge a través de la multimedialitat.

7.1.3. Interactivitat

Com he exposat anteriorment, considero la interactivitat com una dimensió d'anàlisi dels materials hipermèdia independent a la hipertextualitat i a la multimedialitat. Com succeeix amb els dos anteriors, aquest és també un terme molt utilitzat en el món de les TICs, i té, de nou, diversos significats i accepcions diferents. A nivell abstracte, es pot definir la interactivitat com el conjunt d'intercanvis comunicacionals en els que un missatge determinat depèn dels missatges que s'han donat anteriorment. En el cas concret dels hipermèdia, s'entén que quelcom (recurs, interfície, etc.) és interactiu

quan respon en un determinat sentit a una acció de l'usuari. Aquesta acció pot realitzar-se a través del teclat o del ratolí (tot i que s'hi podrien afegir altres canals digitals d'entrada, com la càmera, el micròfon o altres sensors). Ara bé, també acostumem a parlar d'interactivitat dels hipermèdia quan ens referim a la interacció amb d'altres lectors (forums, xats, Wikis, etc.).

Per tant, donada la varietat d'interpretacions que pot tenir aquesta definició general, he volgut mostrar diferents maneres de parlar d'interactivitat en els hipermèdia:

a) La interactivitat com a procés de navegació a través de vincles

En la mesura en que accionant un vincle o un altre el lector es mou d'una unitat d'informació a una altra, el procés de navegació és en sí mateix interactiu, ja que el sistema informàtic respon a l'acció de l'usuari, fent que canviï la informació a la qual té accés. Ara bé, aquesta interactivitat es pot considerar intrínseca a la hipertextualitat, ja que des d'aquesta perspectiva, tots els hipertextos són interactius.

b) Interactivitat com a capacitat de controlar la visualització de la informació

En moltes interfícies digitals l'usuari té la capacitat de modificar allò que veu a través de les accions que fa. Per exemple, en la major dels llocs web, l'usuari pot fer moure el text amunt i avall mitjançant la barra de *scrolling*, pot fer aparèixer o desaparèixer finestres (*overlaps*), ampliar o disminuir la mida de les imatges o controlar la reproducció de vídeos (aturant-la, iniciant-la, modificant-ne la velocitat, etc.). Aquesta interactivitat està força relacionada amb el que des del camp del disseny de webs s'anomena *usabilitat*, és a dir, "la claredat i l'elegància amb que es dissenya la interacció amb un programa informàtic o un lloc web". Ara bé, entenc que aquesta temàtica s'escapa de la naturalesa d'aquest treball (sovint s'estudia la usabilitat des de l'òptica del disseny de llocs web amb finalitat comercial), i per tant, no abordaré aquest tipus d'interactivitat.

c) Interactivitat com l'ús d'*applets* interactius

Molts llocs webs contenen *applets* incrustats (és a dir, petits programes que tenen un codi propi però que s'executen al accedir-hi des del mateix programa navegador) (Novell et al., 2003). Aquests *applets* tenen funcions molt diverses, i com que em centraré en el seu ús des del punt de vista educatiu, els anomenaré recursos (en tant que són recursos educatius). De fet, el que m'interessarà és veure quina és la varietat existent de recursos interactius i quin tipus d'aprenentatge promouen.

Cal a dir, però, que la frontera "tecnològica" entre els *applets* i els *softwares* complets (és a dir, programes sencers que s'executen *offline* i no a través del navegador) és molt difusa des del punt de vista de les aplicacions que permeten, ja que pot ser que les aplicacions que ara per ara necessiten instal·lar-se un programari propi, es puguin en el futur executar des del navegador.

d) Interactivitat com a procés dinàmic de generació d'informació

Un hipermèdia pot ser interactiu en la mesura en que l'autor té capacitat de modificar el seu document en la mesura que rep un feedback dels lectors, ja sigui deixant comentaris, veient-ne el número de visites, etc. Per exemple, si un autor s'equivoca, té la possibilitat d'esmenar l'error online, mentre que amb els llibres i revistes impreses

això no succeeix. Aquesta qualitat “interactiva” dels hipermèdia ha estat destacat per diferents autors com una de les seves majors qualitats (Acuña et al., 1999; Rueda, 2001), ja que mentre que en els textos clàssics és l'autor qui es comunica amb els lectors (però no viceversa), en els hipermèdia s'obre la possibilitat d'una interacció en molts sentits alhora (comunicació multidireccional). També es sol parlar que el disseny de materials hipermèdia és un procés molt més interactiu que el procés d'edició de materials impresos, ja que mentre els primers són més oberts i col·laboratius, l'edició analògica queda en mans d'editorials (Kirchner, 2010). En qualsevol cas, tot això queda fora del treball.

e) Interactivitat com a procés social (interacció social)

Relacionat amb els llocs web i el món d'Internet en general, s'acostuma a parlar d'interactivitat com l'intercanvi d'informació d'uns usuaris amb els altres, ja sigui de manera sincrònica com asincrònica. Així succeeix en els entorns col·laboratius (per exemple, els googledocs), però d'una manera més general amb els fòrums, xats, correus electrònics i tota mena de xarxes socials.

Un cop definides les diferents accepcions d'interactivitat que s'utilitzen per parlar dels hipermèdia, en la taula 6 exposo fins a quin punt les he contemplat en aquest treball.

Diferents tipus d'interactivitat associades a l'hipermèdia		
Accepció d'interactivitat	Exemple	Ho abordo en el treball
Procés de navegació	<i>Accionar vincles i moure's d'un costat a l'altre</i>	De manera implícita quan parlo d'hipertextualitat
Control de la visualització	<i>Canviar el zoom o aturar un vídeo.</i>	No, està més relacionada amb la usabilitat
Ús de recursos <i>applet</i>	<i>Carregar una simulació o un joc des del navegador</i>	Em centro en aquesta accepció
Procés dinàmic de generar informació	<i>Modificar el text d'un web des del servidor</i>	No, queda en un pla sociocultural i s'escapa de la naturalesa d'aquest treball
Interacció social	<i>Deixar un missatge en una xarxa social</i>	

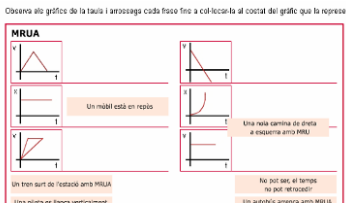
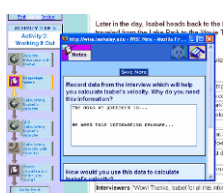
Taula 6

Un cop fet l'aclariment i havent-me posicionat davant la varietat d'accepcions, em centraré en veure quins són els recursos *applets* interactius. En el camp de l'educació, aquestes petites aplicacions suposen un canvi respecte als materials clàssics: mentre en un text imprès només hi apareixen els enunciats d'una activitat, un exercici o un problema, en un entorn hipermèdia l'activitat, exercici o problema es pot integrar en la mateixa interfície . És a dir, un alumne pot estar llegint un text o veient un vídeo, i simultàniament, interactuar amb una aplicació que faci referència a aquest text o vídeo. A més a més, una altra diferència amb els textos clàssics és que la pròpia aplicació pot donar una resposta, un feedback al lector, ja sigui amb una petita

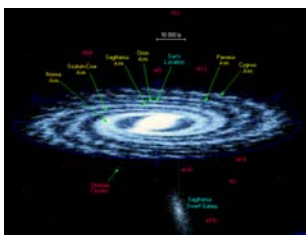
aplicació d'autoavaluació o amb una simulació que canvia de comportament en funció de les instruccions que li dona l'usuari.

Davant d'aquesta diversitat de recursos, per començar, m'he de centrar en aquells que serveixen per ensenyar Física, ja que la casuística en la varietat de recursos podria ser gairebé infinita: aplicacions per jugar a videojocs, aplicacions per fer operacions bancàries, aplicacions per escoltar música *online*, etc. En la taula 7 presento aquesta varietat de recursos basant-me en la classificació de R. Pintó (Pintó et al., 2010).

Com he esmentat al presentar aquestes aplicacions, no hi ha una frontera clara entre els *applets* executables des d'un navegador i els programes sencers si es té en compte les tasques que pot realitzar l'usuari. Per exemple, les simulacions de Física es poden executar *online* (per exemple, a través d'un Easy Java Simulation) però també *offline*, que funcionen amb un *software* independent (per exemple, amb el programa *Interactive Physics*). Per aquest motiu, és molt difícil saber quin tipus d'activitats poden només presentar-se amb un programari propi i quines es poden executar des d'un navegador. Donada aquesta dificultat per distingir-les, faig una presentació general de les TICs que considero "potencialment executables des d'un navegador web", tot i que en la meua experiència com a docent i com a investigador, els tres darrers tipus que presento en la taula 7 sempre que els he vist amb programaris propis.

Varietat de recursos interactius en el camp de la didàctica de la Física	
Aplicacions de resposta tancada: Són aquelles on se li permet a l'usuari realitzar un seguit d'accions i posteriorment se li dona un feedback en forma d'avaluació sumativa. Són un exemple d'aquestes aplicacions els qüestionaris, així com les activitats per relacionar preguntes amb resposta, omplir forats, fer sopes de lletres, ordenar accions, posar etiquetes en un dibuix, etc.	
	En aquesta aplicació s'ha de relacionar cada gràfic de moviment amb la seva descripció escrita. L'avaluació diu a l'usuari el percentatge d'encerts que ha tingut.
Aplicacions de resposta oberta: A diferència de les anteriors, no tenen una resposta tancada. Poden permetre a l'usuari fer-se les seves anotacions, guardar-les i recuperar-les en un altre moment, buscar informació a la xarxa, modificar una imatge, etc. Un bon exemple d'aquest tipus d'aplicacions és la plataforma nord-americana WISE (<i>Web-based Inquiry Science Environment</i>)	
	En aquesta finestra, se li fan un seguit de preguntes al lector, a mode de predicció d'un fenomen concret. Posteriorment, un cop visualitzat el fenomen, l'usuari ha de comparar les prediccions fetes amb el que ha observat.
Aplicacions per visualitzar processos i fenòmens animats (animacions): Són aquelles en què l'usuari pot fer córrer una animació, normalment dissenyada amb Flash o	

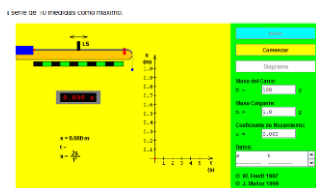
altres llenguatges específics, però sense modificar el comportament d'aquestes animacions.



En aquesta aplicació es pot “viatjar” a través d’una galàxia, veure els noms de les estrelles i visualitzar paràmetres com distàncies o angles.

Aplicacions per controlar les variables d’un fenomen (simulacions):

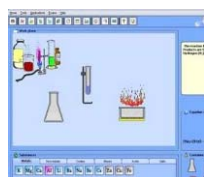
Són aquelles on l’usuari modifica diferents paràmetres i variables, i d’aquesta manera, el comportament del fenomen varia. Són molt conegudes les de W. Fendt o les de W. Christian.



En aquesta simulació, s’observa un carret accelerat per l’acció d’una massa penjant. Es pot modificar el valor de la massa del carret, de la massa penjant i del fregament entre el carret i el carril.

Laboratoris virtuals:

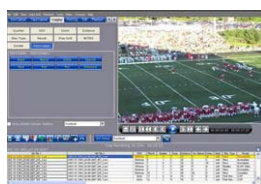
Són aplicacions molt obertes que reproduïxen les condicions que es pot trobar en un laboratori, com ara recipients, estris de tota mena i materials. Es poden obtenir dades de les diferents variables i analitzar-les.



En aquest laboratori virtual l’usuari pot desplaçar els recipients i vessar les substàncies que contenen en d’altres recipients, així com escalfar amb una flama.

Anàlisi de fotografies i vídeos reals:

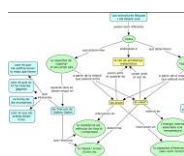
Són aplicacions que permeten definir els paràmetres d’un fenomen estàtic o dinàmic (fotograma a fotograma), i després analitzar matemàticament aquests valors obtinguts (distàncies, angles, superfícies, trajectòries, etc).



En aquesta aplicació es pot seleccionar la posició d’una pilota de futbol per cada fotograma, per tal d’obtenir posteriorment, la trajectòria d’aquesta pilota.

Eines per construir representacions conceptuais:

Serveixen per organitzar conceptes, explicitar les relacions que hi ha entre ells o per fer classificacions, de formes molt variades.

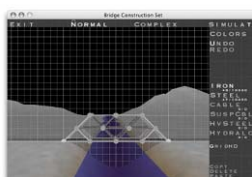


Existeixen diferents aplicacions per construir mapes conceptuals, com ara el Cmaptools © o l’Inspiration ©.

Eines per a la modelització computacional:

Són eines que permeten establir un model que defineixi el comportament d’un sistema, per

posteriorment validar aquest model i comprovar si s'assimila al comportament real.



En aquest programa es pot construir un pont establint les bigues necessàries i els punts de suport. Posteriorment, s'hi fa passar un camió per comprovar si l'estructura triada aguanta el pes del vehicle.

Taula 7

Com he comentat, donada la complexitat del programari que requereixen, les tres darreres aplicacions solen trobar-se només disponibles a través de *softwares* propis. Tot i així les he considerat perquè ofereixen una varietat de recursos i activitats molt més àmplia i rica. Tot i que abordaré les propietats educatives de cada tipus d'activitat més endavant, cal remarcar que aquestes activitats no són substitutòries de les activitats que ja es fan, sinó complementàries (Alejandro, 2004; Pintó et al., 2010). Si ens preguntéssim per l'ús d'aquestes activitats en un context determinat d'aprenentatge, caldria veure quan i com utilitzar-les en funció de la seqüència d'aprenentatge que es volgués seguir. Per exemple, els laboratoris virtuals no són substituïdors dels laboratoris reals, sinó que tots dos s'han de combinar per tal d'optimitzar la seva utilitat al llarg d'una seqüència d'aprenentatge.

7.1.4. Síntesi

Arribats a aquest punt, la figura 9 és una síntesi dels diferents punts abordats al llarg de l'apartat 7.1. Amb aquest quadre-resum estic en disposició de respondre a la primera de les preguntes que m'havia formulat en la figura 5, és a dir, *quines propietats fonamentals distingeixen els hipermèdia dels textos lineals?* Després d'haver abordat els materials hipermèdia en les seves múltiples dimensions, les propietats fonamentals que m'interessen per aquest treball són:

7.1. Quines propietats fonamentals distingeixen els hipermèdia dels textos lineals?

Ser hipertextuals: Estar organitzats en pàgines web, contenir una unitat d'accés centralitzat al contingut, contenir vincles per a navegar i integrar les parts i permetre la intervenció del lector en l'ordre de lectura

Ser multimèdia: Incorporar el canal auditiu i el dinamisme del canal visual, amb totes les combinacions de registre que això comporta.

Ser interactius: Permetre la navegació i el control de la visualització, la interactivitat social i la varietat de recursos. D'aquestes propietats, tan sols abordaré aquesta darrera

Figura 9.

7.2. Principis definitoris de l'aprenentatge com a procés cognitiu

Com ja he exposat en el problema de recerca, el disseny de materials hipermèdia no pot dependre només de les potencialitats que les interfícies donin. Quan no es té una idea clara de què vol dir aprendre, ens trobem amb el problema de recerca presentat: la continua aparició de nous dissenys, materials i interfícies que no responen a un objectiu educatiu emmarcat dins d'un marc teòric consensuat sobre l'aprenentatge de la Física.

Per aquest motiu he considerat l'aprenentatge com un dels camps teòrics imprescindibles en aquesta recerca, i per fer-ho, em vaig plantejar la segona pregunta de la figura 5: *Com i quan s'aprèn de manera profunda i flexible?*

Aquesta pregunta formulada respon a la voluntat de ser suficientment explícit i concret a l'hora de definir "aprendre", ja que sovint tot allò relacionat amb l'aprenentatge es dóna per suposat o per sobreentès, i això porta a no donar-li la importància o la rellevància que mereix. Per evitar que això succeeixi en aquest treball, he volgut anar a buscar algunes de les definicions més fonamentals sobre el procés d'aprenentatge.

M'he basat en la literatura procedent de diferents orígens: Per un costat, prenc en consideració les obres síntesi de la *National Science Foundation* "How People Learn?" (Bransford et al., 1999) i "How Students Learn?" (Domovan et al., 2005). Per complementar aquest marc general, em baso en els resultats de l'escola cognitivista de Massachusetts (Gerace et al., 1999; Leonard et al., 1999) que ha treballat en profunditat l'aprenentatge vinculat a la resolució de problemes i l'organització conceptual pel cas específic de la Física. Per altra banda, prenc en consideració altres paradigmes que s'han utilitzat per descriure l'aprenentatge, com el paradigma de l'aprenentatge profund i superficial (Marton et al., 1976; Biggs et al., 1999) i la teoria de la Flexibilitat Cognitiva (Spiro et al., 1988), la qual em serà útil per després relacionar aprenentatge i ús de materials hipermèdia.

Com que m'interesso pel cas específic de la Física, al llarg d'aquest apartat em centraré en l'aprenentatge de les ciències i de la Física en particular. Això no vol dir que només parli de les especificitats de la Física (això ho faré posteriorment en el punt 8.3), però és evident que si he de posar exemples o cites concretes, les faci vinculades a l'aprenentatge de la Física. Evidentment, tots aquests principis teòrics estan encabits dins d'un marc psico-socio-pedagògic, tal com he presentat en la figura 2a, un marc que entenc que és el marc socio-constructivista. Si parlo de l'aprenentatge com a "procés cognitiu" és perquè la literatura consultada es centra en aquesta faceta de l'aprenentatge i perquè possiblement és la més útil per l'objectiu que em proposo (conèixer les propietats educatives dels materials en sí mateixes més que l'ús social que se'n fa d'elles). Tot i així, entenc que l'aprenentatge és fonamentalment un "procés social" i fins i tot un "procés cultural", i que per abordar l'aprenentatge d'una manera global no s'hauria de deixar de costat la dimensió social i cultural que comporta. Com ja he comentat anteriorment, si no m'he endinsat en aquestes dimensions és per la necessitat d'acotar el treball. Com exposo més endavant en les conclusions, encara em queda molt per explorar, i sens dubte, aquesta és una de les línies que hauria de prendre més en consideració.

Un cop fet aquests aclariments, estic en disposició a respondre la pregunta anteriorment formulada. Per fer-ho, primer exposo una aproximació a la definició d'aprenentatge (subapartat 7.2.1), i posteriorment, exposo les condicions pedagògiques que considero possibilitadors d'aquest procés d'aprenentatge (subapartat 7.2.2). Finalment, en la figura 11 exposo el resum dels principals punts tractats. D'aquesta manera, hauré establert les bases per discutir posteriorment en quins casos i sota quines condicions un hipermèdia serà o no serà un bon instrument d'aprenentatge.

7.2.1. Aproximació a una definició d'aprenentatge

Quan es parla d'aprenentatge, existeix un consens entre la comunitat científica del camp de la psicologia i l'educació segons el qual aprendre no és inserir de manera memorística o literal un conjunt d'informació, sinó que significa esdevenir capaç d'entendre aquesta informació en el context d'un marc teòric conceptual, d'inserir-la i relacionar-la en una estructura cognitiva prèvia (formada per les concepcions que l'aprenent ja té del món) i ser capaç de manejar-la, recuperar-la amb facilitat i utilitzar-la traslladada a tota mena de contextos i aplicacions (Chin et al., 2000; Domovan et al., 2005). Ja que donar una única definició d'aprenentatge no és senzill i sempre pot ser discutible, l'objectiu que em vaig proposar va ser determinar en quins casos es pot parlar d'aprenentatge, és a dir, quines capacitats ha d'haver adquirit un individu o quins canvis ha d'haver experimentat per dir que ha après quelcom. Per fer-ho, vaig considerar que calien establir un conjunt de punts clau, fàcilment identificables i que permetessin una lectura entenedora, coherent i útil per al posterior desenvolupament teòric entorn de l'aprenentatge a través d'hipermèdia.

A continuació presento algunes de les aportacions que m'han estat més útils a l'hora de definir aquests punts. Aquestes aportacions provenen de la comparativa entre experts i novells en un camp i la diferència entre l'aprenentatge profund i superficial. Posteriorment, exposo un conjunt de cinc punts que responen a la pregunta *Quan s'aprèn de manera profunda i flexible?*

a) La diferència entre experts i novells

Per determinar el procés que esdevé durant un aprenentatge pot ser molt útil conèixer les diferències entre les estructures mentals amb les que organitzen el seu coneixement experts i novells (Bransford et al., 1999). Els experts, més enllà de tenir un volum molt més gran de coneixement factual que els novells, tenen una organització conceptual entorn de grans idees, a partir de la qual poden assimilar d'una manera molt més eficient els patrons d'informació, poden accedir-hi d'una manera molt més fluïda i solucionar problemes d'una manera molt més senzilla.

En el cas concret de la Física, Leonard (1999) fa una distinció com la que presento en la figura 10. Per començar, divideix el coneixement en tres grans estructures: coneixement conceptual (com ara saber què significa la velocitat o l'energia cinètica), coneixement operacional (com saber definir energia cinètica o saber dibuixar un diagrama de forces) i coneixement estat del problema o *Problem-State Knowledge* (els principis generals que cal aplicar en cada context particular).

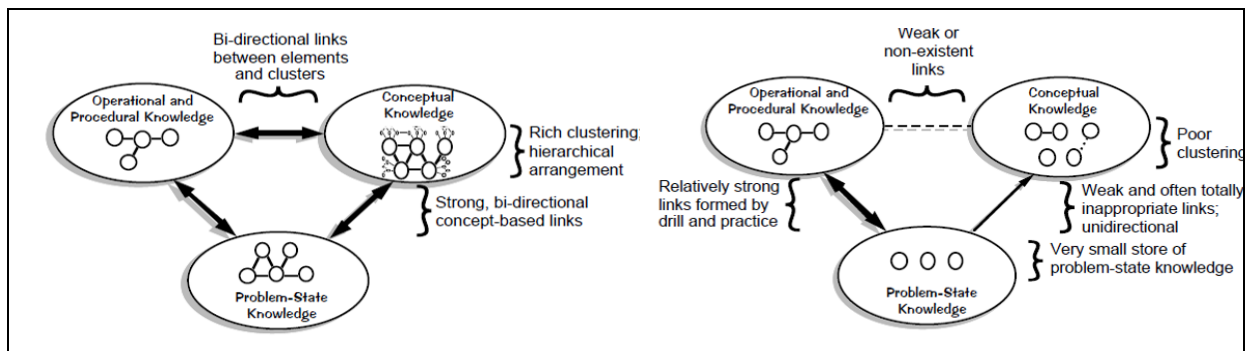


Figura 10: Representació de Leonard (1999) de les estructures de coneixement d'un expert (esquerra) i d'un novell (dreta).

Tal com es pot observar en la figura, l'expert compta en la seva ment amb un entramat de conceptes dels quals cadascun es relaciona amb molts d'altres, i les relacions entre aquests són explícites. Els conceptes s'organitzen jeràrquicament a partir de conceptes paraigua (*umbrella concepts*). A més a més, l'expert compta amb un gran bagatge de coneixement estat del problema és a dir, que sap quins principis convé utilitzar en cada situació particular. Els vincles entre els diferents tipus de coneixements són forts i serveixen per decidir la idoneïtat dels conceptes i les operacions per cada situació problema, que permet una ràpida recuperació d'aquests en una varietat de contextos, fins i tot quan estan allunyats dels utilitzats per aprendre.

En canvi, els estudiants novells tenen agrupacions de conceptes molt pobres i molts dels vincles són inapropiats o no existeixen. Des d'aquest plantejament, les concepcions alternatives s'expliquen com vincles inapropiats extremadament forts. Tot i que aquests novells poden arribar a estar familiaritzats amb un gran nombre d'equacions, no saben com utilitzar-les en contextos diferents dels que van aprendre, i per tant, el coneixement operacional de que disposen és poc útil.

b) Les diferències entre aprenentatge profund i superficial

Des d'un altre enfocament, Biggs (1999) plantejà que la manera com l'alumnat s'enfronta a cada tasca d'aprenentatge pot tenir resultats molt diferents en funció de l'estratègia utilitzada. Per fer-ho, distingeix entre l'aprenentatge profund i l'aprenentatge superficial. Aquesta distinció és una primera aproximació als diferents tipus d'aprenentatges existents, i altres autors utilitzen classificacions més acurades (per exemple, distingint entre superficial, profund i algorítmic). Tot i així, la considero aquesta primera aproximació una classificació vàlida per aquest treball.

Mentre que l'aprenentatge profund es duu a terme quan l'alumne s'enfronta a nous fets i idees examinant-les críticament, connectant-les amb les estructures cognitives prèvies i establint-ne vincles; l'aprenentatge superficial es produeix quan les noves idees s'accepten passivament i s'intenten emmagatzemar com a ítems aïllats i desconnectats (Tagg, 2003).

En la taula 8 exposo els punts recollits per Houghton (2004) a partir de l'aportació d'altres autors (Entwistle, 1988; Biggs et al., 1999; Ramsden, 2005).

Diferències entre l'aprenentatge profund i superficial	
<i>Deep Learning</i>	<i>Surface Learning</i>
Es busquen els significats.	Es memoritza sense comprendre els significats.
Es focalitza l'atenció en l'argument central o en els conceptes necessaris per resoldre un problema.	Es focalitza l'atenció en signes externs i en les fórmules i algoritmes per resoldre un problema.
S'interacciona activament i es distingeix entre argument i prova.	La informació es rep passivament, sense distingir els principis generals dels casos particulars.
S'estableixen connexions entre unitats didàctiques o entre mòduls.	Es tracten parts de mòduls i el programa general com separats.
Es relacionen els coneixements nous amb els previs.	No es reconeix que el material nou es construeix sobre el treball previ.
Es connecta el contingut educatiu amb la vida quotidiana.	El contingut del curs és simplement un material per aprovar l'avaluació.
S'intenta organitzar i estructurar tot el contingut en un conjunt coherent.	No s'estableix la relació entre les diferents parts.
Té un caràcter més estable i independent de la situació particular	És molt més variable i depenent de factors contextuals i situacionals en els quals aquest es produeix

Taula 8

c) Quan s'aprèn de manera profunda i flexible?

A continuació presento un conjunt de condicions per les quals es pot dir que algú ha après quelcom, basant-me en les aportacions anteriorment exposades i en d'altres, com ara les provinents del paradigma de la Flexibilitat Cognitiva. Per a cadascun dels punts he volgut afegir un exemple concret relacionat amb l'aprenentatge de la Física.

- I. L'aprenent integra el nou coneixement **en una xarxa d'idees entrelaçades**, una xarxa rica, organitzada i jerarquitzada entorn de les idees claus. Per tant, l'aprenent no guarda aquest coneixement de manera aïllada o en fragments disgregats d'informació.

Per exemple, l'aprenentatge dels diferents tipus de moviments de la cinemàtica (caiguda lliure, tir parabòlic, moviment circular, etc.) implica l'estructuració d'aquests casos particulars entorn de la primera llei de Newton i al principi d'independència de moviments, per a partir d'aquí, descriure cada situació concreta. En canvi, no seria un bon aprenentatge de la cinemàtica la memorització d'una enorme llista d'equacions i de passos a seguir per aplicar en cada cas particular.

- II. L'aprenent adquireix la **capacitat de transferir i aplicar aquests conceptes adquirits en un context diferent a l'après** (Domovan et al., 2005), i per tant, és flexible i capaç d'adaptar-se als canvis i a les diferents situacions i contextos que siguin necessaris (Spiro et al., 1988).

Un bon aprenentatge de la resolució d'un determinat tipus de problema hauria de permetre la resolució d'aquest independentment del context particular determinat per l'enunciat. En canvi, un aprenentatge poc flexible o excessivament superficial comporta que tan sols canviant l'enunciat, l'aprenent esdevé incapaç de transferir el que ha après en la nova situació.

- III. L'aprenent té **facilitat de recuperar el coneixement**. A partir d'una estructura cognitiva amb els idees entrelaçades i organitzades entorn de conceptes clau, la informació de la qual es disposa pot ser més eficaçment recuperada i aplicada que si, en canvi, es disposa només de fragments disgregats d'informació. Quan recordem alguna cosa, estem recuperant aquesta informació estructurada gràcies a algun estímul que ens hi ha portat, i com més camins hi hagi en la ment, més facilitat tenim per relacionar uns conceptes amb d'altres (Jonassen, 1986; Bransford et al., 1999; Domovan et al., 2005).

Seguint el primer exemple, quan algú ha après certes nocions de mecànica no ha de buscar entre un llistat d'equacions memoritzades quina és l'adient per a cada situació, sinó que ràpidament pot accedir millor a la informació que té guardada.

- IV. L'aprenent s'enfronta a noves idees **relacionant-les amb les que ha après i establint-ne vincles**; i utilitza el coneixement après per examinar críticament aquestes noves idees (Biggs et al., 1999).

Aprendre implica que, gràcies al nou coneixement, es puguin detectar millor i amb patrons d'informació més rics, les noves informacions que hi estan relacionades. Quan algú aprèn de manera adequada un concepte físic canvia una mica la seva manera de mirar el món i pot percebre coses que abans no percebia. En canvi, quan algú ha memoritzat un conjunt de coses però al rebre noves informacions no les relaciona amb les primeres, vol dir que les primeres no les ha après.

- V. L'aprenent adquireix la capacitat d'interpretar **diferents representacions d'una mateixa idea i representar aquesta idea de diferents formes** (Spiro et al., 1988; Jacobson et al., 1996).

Per exemple, una persona que ha après el funcionament primari dels circuits elèctrics ha de poder expressar amb paraules el que veu en un diagrama i viceversa. Alhora, ha de poder comunicar amb qualsevol dels llenguatges possibles i de manera complementària alguna idea entorn d'aquests circuits, ja sigui amb un càlcul numèric, amb un diagrama o amb paraules.

Presentant aquest conjunt de punts he volgut establir una aproximació a la definició d'aprenentatge. És a dir, una persona haurà après en la mesura en que es compleixin aquests cinc punts. Ara bé, *quines condicions pedagògiques poden fomentar aquest tipus d'aprenentatge?* He volgut considerar-les en un punt apart, recollint així altres aportacions de la literatura i la meua pròpia experiència i bagatge com a docent.

7.2.2. Com s'aprèn de manera profunda i flexible?

Respondre aquesta pregunta equivaldria a desenes de treballs de recerca com aquest, i per tant, només podré fer-ho parcialment. Evidentment, un enfocament educatiu qualsevol sempre té múltiples dimensions, i a continuació només abordo aquelles que

puguin ser especialment rellevants per inferir conclusions respecte del disseny de materials hipermèdia. Segons aquest criteri, he considerat que :

- I. L'alumne tingui un **paper actiu** en el procés d'aprenentatge. Es tracta de que no només rebí la informació de manera passiva, sinó que s'hi enfronti activa i críticament, analitzant-la i treballant-la per tal de fomentar la integració conceptual anteriorment exposada.
- II. Les activitats educatives que es realitzin han de suposar **un repte cognitiu** per a l'alumne. Han de generar dubtes i problemes que l'alumne ha de poder solucionar, per poder així reestructurar la seva ment, organitzar aquesta xarxa de conceptes i adquirir l'habilitat de transferir el coneixement d'un context a un altre.
- III. Les activitats educatives han de **promoure habilitats de diferents ordres cognitius**. A partir d'una varietat rica d'activitats l'alumne no només ha d'habituar-se a la memorització d'informació i la realització de procediments mecànics, sinó que ha d'enfrontar-se a la resolució de problemes a través d'activitats com ara la predicció, la comparació, l'explicació, la demostració, la justificació i la reflexió, entre d'altres¹².
- IV. Els contextos d'aprenentatge han de ser **amplis, per poder així treballar una mateixa idea en profunditat** i des de diferents perspectives. Els conceptes poden ser molt dependents del context i no resulten globalment útils fins que s'abstreu d'aquest. Per tant, investigar un ampli context d'aplicabilitat ajuda a l'alumne a perfeccionar i abstrure aquests conceptes¹³.
- V. Els contextos d'aprenentatge han de permetre abordar i utilitzar la **representació d'idees a través de múltiples llenguatges**. Fer que els estudiants interpretin i comparin aquestes representacions els ajuda a relacionar-les i integrar-les, dedicant-hi el temps que sigui necessari. En el cas de la Física és especialment important el foment del **pensament qualitatiu** davant la tendència a presentar la Física només com equacions una darrera de l'altra (Van Heuvelen, 1991).
- VI. La presentació del contingut ha de ser integrada i jeràrquica, on es destaquí allò més general i fonamental i les idees que s'organitzen al seu voltant, que connecti allò global amb allò particular, que permeti **fer referències endavant i endarrere**, donant un sentit global a les diferents parts. Com que els conceptes requereixen molt temps per a formar-se, no es pot esperar que els estudiants aprenguin per complet quelcom abans de canviar de tema (Leonard et al., 1999). En avançar, es prepara a l'estudiant per a nou material, i en fer referències cap a enrere, s'associa el nou material amb el coneixement parcialment construït. Així s'entrellaça i interconnecta el coneixement d'una manera més complexa que amb la simple visió lineal d'aquest.

¹² Una relació i classificació d'aquestes activitats es troben adequadament esmentades en articles com *Concept-based problem solving. Making concepts the language of physics* (Leonard 1999).

¹³ En algunes ocasions es diu que els currículums educatius són "*a mile wide and a inch deep*".

- VII. Una presentació del contingut **basada en la formulació d'interrogants i la resposta d'aquests**, que permetin a l'alumnat entendre la necessitat d'allò que s'estudia i que guiï els passos a seguir en un procés d'aprenentatge.
- VIII. El foment de **la metacognició** de l'aprenentatge que permeti a l'alumne saber el que sap en cada moment, que ajudi als alumnes a prendre control del seu propi aprenentatge. Convé definir bé les metes a aconseguir i guiar els alumnes en la seva consecució, ja que els estudiants que dirigeixen el seu propi aprenentatge aprenen més ràpidament i són més sensibles a les seves necessitats d'aprenentatge.

7.2.3. Síntesi

D'aquesta manera, estic en disposició a respondre la segona pregunta formulada en la figura 5.

7.2. L'aprenentatge com a procés cognitiu
<p>Quan s'aprèn de manera profunda i flexible?</p> <p>Quan s'integra el coneixement en una xarxa d'idees entrelaçades, quan s'adquireix la capacitat de transferir i aplicar allò après en un context diferent, quan es té facilitat per recuperar aquest coneixement i s'utilitza per relacionar-lo amb les noves idees i quan es té la capacitat per interpretar i utilitzar múltiples llenguatges i representacions.</p>
<p>Com s'aprèn de manera profunda i flexible?</p> <p>A través d'un paper actiu de l'alumnat, amb activitats que suposin un repte cognitiu i que promoguin habilitats de diferents ordres cognitius, a partir de contextos amplis que permetin abordar amb profunditat les idees centrals i amb una integració dels diferents continguts, a través de múltiples llenguatges (tan qualitius com quantitius) i fomentant la metacognició de l'alumnat.</p>

Figura 11: Quadre-resum del subapartat 7.2.

7.3. Elements definitoris de la Física com a disciplina

El darrer camp que cal tenir en compte per abordar la problemàtica de recerca exposada (és a dir, l'absència d'una argumentació teòrica sobre com dissenyar hipertextos educatius per aprendre Física de manera profunda i flexible) és la pròpia disciplina (la Física), les seves propietats fonamentals i la naturalesa dels seus objectes d'estudi. *Com és la Física, en tant que cos de coneixement, i com és el pensament físic?* Tot i que l'abordatge de la naturalesa profunda de la Física com a ciència escapa completament d'aquest treball (tant per l'extensió com pel nivell de complexitat), he considerat oportú tenir en consideració alguns dels elements definitoris d'aquesta, que seran molt útils per al meu treball.

La Física és la ciència que estudia, descriu i interpreta les propietats fonamentals del temps, l'espai, la massa i l'energia a través de la construcció de models interpretatius de la natura. La construcció de la Física s'ha fet, al llarg de la història, a través d'una complexa activitat social en la qual s'ha combinat l'avenç dels raonaments teòrics i l'experimentació empírica, i que ha recollit els fruits tant del raonament lògic com de la imaginació humana. La teoria i l'experimentació s'han validat mútuament mitjançant la predicció teòrica de resultats experimentals i la necessària reformulació del seu cos teòric quan ha estat necessari.

A partir d'aquesta definició adaptada del manual "Física actual per a tothom" (Bramón, 2000), amb les aportacions de la literatura consultada, en la que es reflexiona sobre la naturalesa de la disciplina, i a partir de la meua experiència com a físic, he elaborat un conjunt de punts que he anomenat elements definitoris de la Física. Aquests són la fonamentalitat de la disciplina; la idealitat amb què es treballa; la univocitat i el rigor de les definicions i constructes físics; la multiplicitat de llenguatges i la densitat d'idees en les representacions. De nou, he considerat aquests punts perquè em seran útils per posteriorment respondre a les preguntes formulades en la figura 5, com ara *Pot el suport hipermèdia millorar l'ensenyament de la Física en alguns aspectes?*, i també *Quines especificitats de l'aprenentatge de la Física s'han de tenir en compte en el disseny de materials hipermèdia?*.

a) La fonamentalitat: La voluntat d'entendre la natura a través de les seves propietats i interaccions fonamentals.

Com a disciplina, la Física és una de les disciplines més fonamentals del coneixement humà. Bramón (2000) destaca que aquesta "fonamentalitat" i profunditat es dona tant en amplitud com en simplificació conceptual. Mentre que altres disciplines redueixen el seu estudi a camps molt determinats, la Física aborda els elements constituents de la natura sense autolimitar-se en el seu camp d'estudi. No deixa sistemes i objectes mesurables fora del seu abast¹⁴, no s'autolimita en quant a precisió i exactitud¹⁵.

¹⁴ Des del passat més remot al futur, des de les partícules elementals fins a les galàxies i nebuloses, etc.

¹⁵ La Física moderna i experimental té una tendència il·limitada vers la precisió i exactitud sabent que mai l'assolirà. Exemple d'això són els càlculs successius d'una mateixa magnitud o constant física cada vegada amb més precisió en alguns dels darrers premis Nobel.

Ahora, la Física pretén trobar les “peces clau”, els conceptes més profunds i unificadors possibles¹⁶.

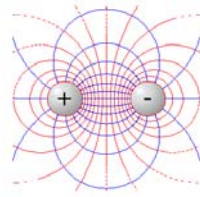


Figura 12: L'estudi de les interaccions fonamentals duu a plantejar tota mena de constructes, fins i tot quan aquests estan allunyats de la percepció humana, és a dir, “no es poden veure”.

És a dir, la voluntat d'assolir una comprensió profunda del món ha portat als físics a abordar l'estudi de les seves propietats i les interaccions a qualsevol escala de temps i espai (fins i tot quan aquestes propietats i interaccions són imperceptibles per l'home) i a la construcció i representació d'objectes físics capaços de descriure i interpretar el món, de la manera més profunda possible.

Aquesta propietat de la Física, com mostro més endavant, permet plantejar-los com representar els objectes i constructes físics i fins a quin punt, la incorporació d'eines digitals (simuladors, experiments virtuals, etc.) intervé en aquesta representació.

b) La idealitat: La construcció de models, objectes i fenòmens ideals

Per dur a terme aquesta descripció del món, la Física s'ha dotat d'un cos de termes ideals (Besson, 2009) que quantifiquen, descriuen i interpreten les propietats fonamentals dels sistemes i el transcurs dels processos que es donen en el món. Aquest intent d'idealitzar la natura i les seves propietats i interaccions ha estat un leitmotiv de la construcció del pensament físic, i sovint ha comportat superar l'empirisme en el sentit més estricte de la paraula. Com a ciència, la Física és empírico-formal, però sovint ha tingut més pes la recerca de patrons ideals (i de vegades, antiempírics) que no pas el caràcter experimental de la disciplina. Una conseqüència d'aquesta naturalesa de la Física és que en tots els camps de la disciplina es poden trobar objectes i constructes que concorden amb la naturalesa ideal (Tomass, 2001). Per exemple, la Física treballa constantment amb partícules puntuals, trajectòries rectilínies, gasos ideals, fluids no viscosos, processos adiabàtics, càrregues puntuals, etc.

Tal com mostraré més endavant, aquest punt serà clau per abordar l'aprenentatge de la Física, ja que sovint aquesta idealitat té poc de real i està molt poc relacionada amb la quotidianitat.

c) La formalitat: La univocitat i el rigor de la disciplina

La Física és una ciència formal. Per tant, la formulació d'aquests constructes ideals s'ha dut a terme de manera unívoca i rigorosa, i s'ha sustentat en un constant judici al significat i a la correcció (Bridgman, 1950), fent de la Física una disciplina durable però no immutable. Reviel (Reviel, 2000) destaca que aquest rigor en les definicions i en els models ve donat pel paper fonamental que juguen les Matemàtiques en el sí de la

¹⁶ Per exemple, un dels salts més importants de la Física del s. XIX va ser unificar l'estudi dels camps elèctrics i magnètics parlant de camps electromagnètics.

Física, ja que l'expressió matemàtica implica concreció, exactitud i univocitat en la comunicació d'idees. En aquest sentit, la Física limita el seu camp d'estudi a aquelles característiques dels sistemes que porten associats una mesura matemàtica o bé que són "susceptibles de ser mesurades" (Bramón, 2000; Lacki, 2003). Per altra banda, el pensament físic s'ha distingit del matemàtic no només pel seu caràcter experimental (entenent que el caràcter matemàtic ha estat, fins a finals del s. XX, estrictament formal), sinó també per estar fortament fonamentat en termes qualitius (Van Heuvelen, 1991; Lacki, 2003).

Per exemple, les equacions d'estat dels gasos en Termodinàmica defineixen matemàticament les relacions entre magnituds mesurables d'un sistema (pressió, temperatura, volum, etc.), però tot i la rigorositat del llenguatge matemàtic que permet una unívoca representació d'aquestes relacions, la comprensió d'aquestes es sustenta en una profunda anàlisi qualitativa del comportament d'aquests gasos.

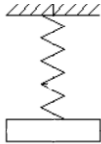

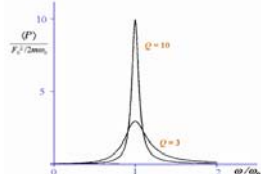
Aquesta propietat de la Física tindrà nombroses implicacions a l'hora de veure com, per tal d'abordar l'aprenentatge de la Física, cal fer front a aquest rigor i univocitat. Per començar, el llenguatge quotidià està extremadament allunyat del llenguatge físic (Scoth, 2010). Només cal veure el diferent valor que tenen termes com força, calor o energia en un context físic o fora d'aquest. Per tant, caldrà veure com es construeix aquest pont. A més a més, també caldrà veure com s'afronta la forta vinculació entre la Física i les Matemàtiques, ja que la comprensió qualitativa dels fenòmens és imprescindible en la Física, fins i tot per a la resolució de problemes quantitatius de Física (Ploetzner et al., 2009).

d) La multiplicitat de llenguatges

Molt sovint es parla de que la Física, com a disciplina, compta amb diferents llenguatges, que es complementen i s'utilitzen de forma simultània (Van Heuvelen, 1991; Ainsworth, 2006; Cook, 2006). Cadascun d'aquests llenguatges, té els seus matisos i permet un tipus determinat de representacions. Entenc que a l'ús d'aquests diferents llenguatges se l'anomena multimodalitat, tot i que la multimodalitat no és només la combinació dels llenguatges que es poden veure, sinó la combinació de registres que s'utilitzen per comunicar (com ara els gestos, l'entonació de la parla, els suports que s'utilitzen). Per aquest motiu, de la mateixa manera que he definit multimedialitat anteriorment, aquí em limito a parlar de multiplicitat de llenguatges i no de multimodalitat. *Però quins són aquests llenguatges?* Potser no existeix una única manera de classificar-los i dividir-los, ja que depèn dels elements que es tinguin en compte (representacions concretes, abstractes, amb un component matemàtic, geomètric, més aviat visuals, més aviat codificades, etc.).

En el meu cas, he considerat oportú fer una classificació de les diferents tipus de representacions comunes en la Física com la que presento en la taula 9.

A més a més d'aquests llenguatges, en alguns camps de la Física, com ara l'acústica, el so pot ser no només un nou canal d'entrada d'informació a la ment, com ja he discutit anteriorment, sinó que pot ser un nou llenguatge, per expressar per exemple, la intensitat o la freqüència del so.

Llenguatges de la Física																													
Text escrit: Serveix per descriure i explicar amb paraules.	Representacions figuratives: Representen objectes concrets, des de representacions esquemàtiques fins a fotografies.	Representacions visual abstractes: Serveixen per representar idees abstractes, interaccions o relacions.																											
<i>Sempre que la freqüència externa aplicada per l'altaveu arriba a un valor concret vibra amb un màxim d'amplitud ben visible, ja que està en ressonància.</i>																													
Llenguatge matemàtic algebraic: Representa relacions entre magnituds descrites amb lletres i símbols algebraics.	Llenguatge matemàtic numèric: Utilitza xifres i unitats per descriure valors numèrics i relacions entre magnituds.	Llenguatge matemàtic gràfic: Descriu relacions entre magnituds a través de gràfics.																											
$A = \frac{F_0 / m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\gamma\omega)^2}}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Hora</th><th>Graus</th><th>Tn/Ct</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>11:30</td><td>59° 48'</td><td>0.1016</td></tr> <tr><td>11:00</td><td>11° 21'</td><td>0.2008</td></tr> <tr><td>10:30</td><td>16° 45'</td><td>0.3011</td></tr> <tr><td>10:00</td><td>22° 5'</td><td>0.4059</td></tr> <tr><td>9:30</td><td>27° 27'</td><td>0.5196</td></tr> <tr><td>9:00</td><td>32° 57'</td><td>0.6460</td></tr> <tr><td>8:30</td><td>38° 39'</td><td>0.7997</td></tr> <tr><td>8:00</td><td>44° 40'</td><td>0.9885</td></tr> </tbody> </table>	Hora	Graus	Tn/Ct	11:30	59° 48'	0.1016	11:00	11° 21'	0.2008	10:30	16° 45'	0.3011	10:00	22° 5'	0.4059	9:30	27° 27'	0.5196	9:00	32° 57'	0.6460	8:30	38° 39'	0.7997	8:00	44° 40'	0.9885	
Hora	Graus	Tn/Ct																											
11:30	59° 48'	0.1016																											
11:00	11° 21'	0.2008																											
10:30	16° 45'	0.3011																											
10:00	22° 5'	0.4059																											
9:30	27° 27'	0.5196																											
9:00	32° 57'	0.6460																											
8:30	38° 39'	0.7997																											
8:00	44° 40'	0.9885																											

Taula 9

He volgut presentar aquests llenguatges perquè anteriorment, quan he presentat què entenia per aprenentatge, he parlat de la capacitat d'entendre i utilitzar diferents llenguatges. Per tant, quan abordi les especificitats de l'aprenentatge de la Física hauré de tenir en compte aquests llenguatges i com ensenyar Física passa per ajudar a traduir d'un llenguatge a l'altre.

Un altre element a tenir en compte és que sovint aquests llenguatges s'utilitzen simultàniament, i cadascun d'ells dona una porció de la informació del disseny visual que es genera a partir de la combinació d'ells. Això comporta sovint una alta densitat d'idees en les representacions genuïnes de la Física.

e) La densitat d'idees en la representació de la Física

Sovint succeeix que en les representacions que s'utilitzen es mostren alhora moltes idees. Poso un exemple d'aquesta densitat d'idees en la figura 13. Es pot veure com en un mateix disseny visual extret de qualsevol llibre de text de Batxillerat s'està representant moltes idees diferents:

- 1.un dibuix esquemàtic però figuratiu d'una corda i d'un pèndul (representats per una línia inclinada i un cercle negre).
- 2.la trajectòria del pèndul (representada per una línia corba)
- 3.la direcció vertical del sistema (representada per una línia discontinua)
- 4.les forces que actuen sobre el pèndul (representades per vectors blaus)
- 5.les descomposicions de la força pes segons els eixos normals i tangencials a la trajectòria (representats per vectors vermells)
- 6.la nomenclatura corresponent a totes les magnituds físiques que descriuen el sistema (representades amb lletres majúscules i minúscules).

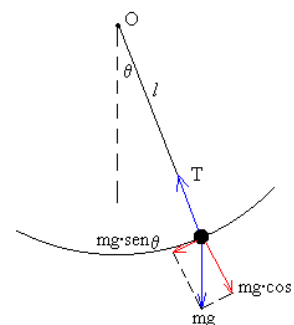


Figura 13

Aquesta densitat d'idees caldrà tenir-la en compte quan, més endavant, parli de com la Física es pot representar i com, a través de les novetats que permeten les eines digitals, es pot afrontar aquesta densitat d'idees per fer més o menys comprensible la seva representació.

7.3.1. Síntesi

Fins al moment, he exposat els cinc grans elements definitoris de la Física que he trobat recollits en la literatura i en la meva experiència com a estudiant i docent d'aquesta disciplina. Per tant, estic en disposició de respondre a la tercera pregunta que em formulava en la figura 5.

7.3. Quin són els elements definitoris de la Física com a disciplina i cos de coneixement?

- La voluntat d'entendre la natura a través de les seves propietats i interaccions fonamentals
- La construcció de models, objectes i fenòmens ideals
- La univocitat i el rigor de la disciplina
- La multiplicitat de llenguatges i representacions
- La densitat d'idees en aquestes representacions

Figura 14: Quadre-resum del subapartat 7.3.

D'aquesta manera, concloc la primera part del desenvolupament teòric, en la que he establert unes bases teòriques per definir hipermèdia, aprenentatge i Física, així com els punts clau de cadascun d'aquests camps que em seran necessaris per arribar als resultats esperats.

Per tant, tot seguit prossegueixo a exposar la segona part del desenvolupament teòric, en la qual em centraré en la combinació i els punts d'intersecció entre aquests tres camps teòrics.

8. Desenvolupament teòric (segona part)

Després d'haver presentat els tres camps teòrics que em proposava estudiar de manera independent (Física, aprenentatge i hipermèdia), em cal començar a veure com aquests s'interrelacionen, per així poder contestar les tres preguntes intermèdies exposades en la figura 5:

8.1. Pot el suport hipermèdia millorar l'ensenyament de la Física en alguns aspectes?

8.2. Quines potencialitats, limitacions i requeriments cal tenir en compte en el seu disseny per optimitzar la seva funció educativa?

8.3. Quines especificitats de l'aprenentatge de la Física s'han de tenir en compte en el disseny de materials hipermèdia?

Per fer-ho, primer exposo breument per què l'hipermèdia pot ser un bon mitjà per representar i abordar els objectes, fenòmens i processos físics (Física a través d'hipermèdia, en el subapartat 8.1), destacant-ne les seves potencialitats.

Tot seguit, analitzo aquestes potencialitats tenint en compte la definició d'aprenentatge que he donat, per tal de detectar quines limitacions existeixen en l'ús de materials hipermèdia educatius i com afrontar el seu disseny (Aprenentatge a través de materials hipermèdia, subapartat 8.2).

Finalment, recupero la Física i els seus elements definitoris, per veure com cal afrontar l'aprenentatge específic de la Física (Aprenentatge de la Física, subapartat 8.3) amb l'objectiu d'incorporar aquestes especificitats al que ja hagi dit sobre aprenentatge amb hipermèdia.

8.1. Física a través d'hipermèdia

Puc estar d'acord en que les eines hipermèdia són un bon suport per aprendre Física. De fet, aquest és un dels denominadors comuns que he trobat en la literatura és mostrar les virtuts de l'ensenyament de la Física amb eines digitals.

Ara bé, de moment intentaré no utilitzar el terme aprenentatge, ja que em centro en descriure les potencialitats dels documents hipermèdia i no pas en si això comporta un veritable aprenentatge¹⁷. Per aquest motiu, els arguments que estan exposats en la literatura com a arguments favorables a "l'aprenentatge" de la Física, jo he volgut considerar-los només com a favorables a "l'ensenyament", o en alguns casos, simplement, a "la representació" de la Física a través d'hipermèdia.

Per exemple, dir que amb un ordinador es poden veure galàxies més fàcilment que en un full imprès és un bon argument per utilitzar ordinadors a l'aula per treballar l'Univers, però no es pot parlar d'aprenentatge tret que a més a més es tinguin en compte els punts anteriorment exposats sobre aprenentatge (és a dir, un alumne es podria passar hores jugant a jocs amb galàxies sense aprendre res). Tot i així, aquest és un punt de partida interessant, a partir del qual veure en quins casos és millor un tipus o altre de representacions.

Les idees que aquí recullo conformen un argumentari molt heterogeni, provinent, en gran part dels articles de molts autors de materials digitals, que en destaquen les virtuts d'aquests. Entre el recull que he fet d'aquesta literatura i la meva pròpia experiència en l'ús d'aquests materials, he agrupat aquest argumentari en els següents blocs:

a) Es poden veure fenòmens reals i accedir fàcilment a tota mena de dades empíriques

A diferència dels materials impresos, els hipermèdia permeten incorporar vídeos, i per tant, presentar tota mena de fenòmens i situacions (Clinch et al., 2002; Altherr, 2003). A més a més, com ja he comentat anteriorment, l'anàlisi d'aquests vídeos pot donar dades empíriques sobre la posició o la velocitat d'objectes. Més enllà d'això, l'accés a la xarxa integrat en entorns hipermèdia permet l'accés a tota mena de dades, com per exemple mesures de qualsevol tipus o imatges astronòmiques obtingudes de telescopis provinents de qualsevol lloc del món.

b) Es pot combinar la idealitat-virtualitat amb la realitat

Les representacions virtuals, és a dir, aquelles que han estat dissenyades informàticament, per definició no són reals. A més, si es vol representar comportaments físics s'han d'introduir equacions informàticament per tal que el sistema virtual es comporti d'una certa manera. En aquest cas, s'estan representant fenòmens ideals, ja que estan regits per equacions, les quals són per si mateixes

¹⁷ De moment parteixo de la Física per veure si l'hipermèdia (en aquest cas, sobretot en funció de la multimedialitat) és potencialment adequat per aprendre. Més endavant, en els subapartats 8.2 i 8.3 exposaré quan aquestes potencialitats realment impliquen aprendre i quan no. D'aquesta manera pretenc evitar caure en un dels errors que més crítico de la literatura existent.

simplificacions de la natura. Per tant, quan parli d'aprendre a través de representacions ideals de fenòmens i sistemes hauré de tenir en compte aquesta naturalesa no real.

Tot i això, la representació amb eines multimèdia permet, per exemple, combinar animacions ideals i vídeos reals, o bé editar vídeos incorporant-hi elements. Per exemple, es pot presentar un vídeo d'un moviment i que hi aparegui a sobre la trajectòria seguida, o es pot presentar un sistema termodinàmic i incorporar-hi fletxes que indiquin intercanvis d'energia, etc.

D'aquesta manera, s'està combinant el fenomen real i la representació ideal, i per tant, el lector està davant d'una situació molt més rica i més fidel a la naturalesa de les ciències del que ho estaria només amb animacions digitals.

c) Es poden reproduir situacions que no es poden veure en la realitat

El fet d'usar objectes virtuals (com ara els laboratoris virtuals) permet reproduir tota mena de fenòmens i situacions que no es poden observar en la realitat (Trinidad, 2002; Novell et al., 2003; Hennessy et al., 2007; Baade et al., 2008), sia per la seva complexitat de reproduir en un laboratori, per la falta de maquinària o materials o bé per la perillositat dels experiments. Ara bé, caldrà tenir en compte que els laboratoris virtuals no són substituïdors de la Física que es pugui aprendre en un laboratori real, sinó que són complementaris (Alejandro, 2004; Franco, 2007) i caldrà veure més endavant, en quins casos són positius per a l'aprenentatge de la Física.

d) Es poden representar objectes i sistemes a qualsevol escala d'espai i connectar les diferents escales

Pot ser especialment útil poder representar diferents escales espacials, ja que, com he exposat anteriorment, la Física les contempla a tots els nivells (micro, meso i macro), entre els quals existeix una forta connexió (Cox et al., 2003; Cook, 2006). El fet de poder veure un mateix fenomen a diferents escales pot ajudar a la seva comprensió.

Per exemple, poder visualitzar un circuit electrònic macroscòpic i alhora, el dopatge microscòpic dels semiconductors en els díodes, dona una informació molt més profunda del fenomen del que ho fa per separat.

Algunes animacions permeten mostrar canvis visuals d'escales de manera fractal, introduint imatges dintre d'imatges i representant la sensació d'empetitir-se o engrandir-se ràpidament, millorant la comprensió de fenòmens extremadament petits o extremadament grans a escala humana, tal com plantejava en la definició de Física del punt 7.3.

e) Es pot representar el temps

El temps juga un paper fonamental en Física, ja que com he exposat anteriorment, aquesta ciència es preocupa per interpretar la natura a qualsevol escala d'espai. A més, moltes idees en Física hi estan relacionades directament, com per exemple la idea de ritme, de periodicitat, de reversibilitat, d'estacionarietat o de quasi-estacionarietat. També pot ser útil per estudiar aquells fenòmens i sistemes on temps és una variable rellevant (per exemple amb acceleració, velocitat, moviments en

general, canvis d'estat, escalfaments i refredaments, càrregues i descàrregues de condensadors, oscil·lacions, etc.)

La representació de fenòmens a través del temps permet visualitzar escales de temps difícils de percebre, com ara fenòmens massa ràpids o lents a escala humana, així com situar-se com a observador en sistemes de referència difícils de reproduir a través del paper imprès, per exemple, passant d'un sistema de referència inercial a un de no inercial (Girwidz, 2010).

f) Es poden visualitzar constructes abstractes i allunyats de la percepció

A través de les eines multimèdia es poden representar constructes que no només són ideals, sinó que alhora estan allunyats de la percepció humana, és a dir que no es poden veure ni percebre però que són d'ús comú en el pensament físic (Tomass, 2001; Clinch et al., 2002; Cox et al., 2003; Novell et al., 2003; Esquembre et al., 2004). Tot i que en els llibres i materials impresos apareixen representacions de tota mena, amb l'ús d'imatges dinàmiques¹⁸ es facilita molt la representació d'objectes com les línies de camp, els gradients, superfícies equipotencials, vectors, ones, etc. Alhora, a través d'hipermèdia és més fomentar el pensament analògic dels estudiants (Zheng et al., 2008).

g) Es pot afrontar la densitat de les representacions amb representacions dinàmiques

Aquestes imatges dinàmiques no només permeten representar més fàcilment fenòmens, sinó fer front a la densitat en les seves representacions, donada la densitat pròpia de la Física anteriorment exposada. Es pot simplificar molt la visualització i comprensió de dissenys visuals, per exemple, amb canvis de colors, amb canvis de lluminositat, fent aparèixer i desaparèixer elements visuals, deixant al lector modificar variables, etc.

h) Moure's d'un lloc a un altre a través d'enllaços

A través d'una navegació amb enllaços es facilita molt anar d'un context a un altre, poder passar ràpidament de l'explicació amb text a la visualització i control de fenòmens. Amb enllaços es poden fer referències a tota mena de contextos, es pot accedir al procés de construcció històrica dels models físics, etc. És a dir, que a través de la hipertextualitat s'obren noves maneres de navegar i accedir a la informació accessible en un hipermèdia educatiu de Física.

8.1.1. Síntesi

La següent figura (15) resum els diferents arguments favorables a l'ús de materials hipermèdia per ensenyar Física. A causa de tot aquest argumentari, trobem a la xarxa una gran quantitat de llocs web dissenyats per ensenyar Física. Existeixen recursos molt variats¹⁹, però els més utilitzats (a part dels textos amb format tradicional penjats a Internet) són les aplicacions Physlet.

¹⁸ He definit imatge dinàmica en el punt 7.1.2 de la memòria.

¹⁹ Algunes de les compilacions de recursos *online* són la realitzada per l'*Institute of Physics* (Software 4 skint Schools: <http://www.liv.ac.uk/~iop/PTC/PTC-SSS-links.html>) o les que

8.1. Pot el suport hipermèdia millorar l'ensenyament de la Física en alguns aspectes?

Veient fenòmens reals i dades empíriques i alhora situacions ideals, combinant la idealitat amb la realitat, reproduint fenòmens i sistemes a qualsevol escala de temps i d'espai, reproduint fenòmens abstractes i allunyats de la percepció i afrontant la densitat del llenguatge físic amb representacions dinàmiques.

Figura 15: Resum del subapartat 8.1.

Actualment n'hi ha milers de gratuïts disponibles a la xarxa, pensats per a totes les edats i per a totes les temàtiques de la Física. A nivell internacional, algunes de les més utilitzades són les de l'alemany W. Fendt o les *Easy Java Simulations* de W. Christian, mentre que en llengua castellana el lloc web per excel·lència és el del professor basc A. Franco *Física en Internet*, que compta amb més de 500 *applets* educatius.

Ara bé, aquestes qualitats exposades fins ara de les eines digitals per representar i ensenyar fenòmens i processos són suficients per garantir un bon aprenentatge de la Física? Tal com he dit, tot i que aquests siguin bons arguments, el que cal ara és saber quan un hipermèdia és una bona eina d'aprenentatge. En l'apartat 7.1 he pogut presentar una definició de les propietats fonamentals i les característiques dels hipermèdia, sempre a partir dels elements que els distingeixen dels textos lineals i analògics.

Per presentar els propers raonaments, he volgut parlar de **potencialitats**, és a dir, els arguments favorables a l'ús d'eines hipermèdia, els quals fan pensar que l'hipermèdia pot arribar a ser una eina educativa molt potent (Jonassen 2006). Al mateix temps, també presento les **limitacions**, ja que com he destacat en la presentació del problema de recerca, aquestes potencialitats no sempre són per si soles positives (Puntambekar, 2005). Per exemple, de la mateixa manera que la lectura hipertextual pot ajudar a assimilar l'estructura conceptual del contingut, aquesta també pot fomentar una lectura dispar o desorientadora si els vincles estan situats en llocs poc adients. De la mateixa manera, la interactivitat dels recursos hipermèdia pot incentivar una actitud activa de l'alumnat, fent incrementar la seva atenció i motivació, però també pot fomentar l'ús abusiu d'aplicacions interactives conductistes, memorístiques i repetitives. Finalment, em referiré als **requeriments** com les diferents consideracions i recomanacions que apareixen en la literatura i que proposen dissenys hipermèdia en un determinat sentit.

8.2. Potencialitats, limitacions i requeriments per a l'aprenentatge a través d'hipermèdia

Així doncs, quines potencialitats, limitacions i requeriments cal tenir en compte en el disseny de materials educatius hipermèdia ?

Per respondre aquesta pregunta, utilitzaré les mateixes dimensions que ja utilitzat en el punt 7.1 per parlar d'hipermèdia, és a dir, la hipertextualitat, la multimedialitat i la interactivitat. Ara bé, donat que després de delimitar els diferents tipus d'interactivitat i haver-me centrat en la varietat de recursos interactius, quan em refereixi a la interactivitat ho faré en aquest darrer sentit.

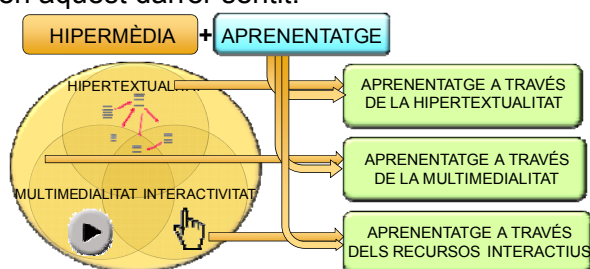


Figura 16: Aprenentatge a través d'hipermèdia

Un cop hagi desenvolupat cadascun d'aquests subapartats, resumeixo les principals conclusions en la figura 17.

8.2.1. Aprenentatge a través de la hipertextualitat

L'estudi de les propietats hipertextuals dels documents hipermèdia m'ha permès determinar un conjunt de tipologies, característiques i propietats dels hipertextos. *Quines d'aquestes característiques son concordants amb la definició d'aprenentatge anteriorment exposada?* Per respondre a aquesta pregunta em centraré en analitzar com hauria de ser l'organització del contingut, com s'hauria de presentar aquesta organització i quin paper haurien de tenir els vincles d'un hipertext per establir les bases d'un bon aprenentatge.

a) Potencialitats per a l'aprenentatge

L'aprenentatge, tal com he exposat anteriorment, és un procés pel que cada individu organitza la seva ment en base a una xarxa de conceptes relacionats al voltant de grans idees estructurants. Per tant, aprendre no és acumular informació de manera lineal o en forma de llistes de conceptes, sinó reforçar i complementar les xarxes conceptuais, establint connexions cada vegada més riques i estructurades.

De fet, el pensament humà és en si mateix un procés no lineal, que porta a les persones a pensar, llegir o escriure en fragments no lineals. Aquest argument és molt recurrent en la literatura a l'hora de defensar que un model de document hipertextual pugui assimilar-se molt més a com estan (o haurien d'estar) estructurades les idees en la nostra ment (Fuller, 1993; Jonassen et al., 1998; Rueda, 2001), i fins i tot s'ha arribat a assegurar que la nostra manera de pensar és hipertextual (Bowie, 2001). Aquest plantejament sosté que una navegació a través de les pàgines web que conformen un lloc web, és a dir, navegar entre nodes (idees) a través de vincles (relacions entre idees) **podria ajudar a organitzar i estructurar el coneixement, posant l'accent en**

les relacions entre les idees i conceptes (Jonassen, 2006), i la navegació és un procés de mediació a través del qual l'usuari aprèn implícitament o explícitament l'estructura d'un hipertext (Padovani et al., 2003).

Des d'aquest punt de vista, pot ser positiu un model de lectura on els documents no siguin llegits i abordats de principi a final en forma de llista de continguts (McKnight et al., 1996), sinó mitjançant seqüències no lineals on intervingui tant la voluntat de l'autor com la del lector, **fent que aquest pensi en cada moment on vol anar** (de Jong et al., 2002): que pugui anar endavant i endarrere, seguir el seu ritme individual de lectura, anar i tornar, prendre consciència del procés de navegació i tenir una actitud activa davant la informació que té al davant. És a dir, es tracta d'un model de lectura contraposat al de lectura lineal, sovint més passiva i relacionada amb el que anteriorment he definit com "aprenentatge superficial", caracteritzat per una acceptació tàcita i passiva de peces d'informació que pretenen ser memoritzades com fets aïllats i deslligats.

En aquest model de lectura hipertextual, els vincles tenen diferents funcions. Són eines que ens serveixen per passar d'un node a un altre de forma instantània. Faciliten la capacitat i velocitat de fullejar (*browsing*) un document i permeten accedir a grans quantitats d'informació emmagatzemada. Mitjançant enllaços externs (a altres hipertextos) els usuaris poden accedir instantàneament a tota mena d'eines disponibles a Internet com les esmentades fins ara. Però a més a més, poden ajudar i propiciar la connexió entre les idees desenvolupades en un node (Acuña et al., 1999). Per tant, incorporar vincles en un text i fer que aquests tinguin un paper rellevant durant el procés de lectura pot ser molt útil per establir una relació entre les idees que hi ha en els extrems de cada vincle (Oliver, 1995; McKnight et al., 1996; Jonassen et al., 2006).

b) Problemàtiques i limitacions de la hipertextualitat

La lectura no lineal a través de vincles comporta un risc més alt de **falta de coherència** del que existeix en els textos impresos i dissenyats de manera lineal (Capón, 2003). Segons diferents autors (Amadiieu et al., 2005; Puntambekar et al., 2005), mentre que la coherència local consisteix en la comprensibilitat del text i les representacions visuals utilitzades, la coherència global fa referència a la manera com està estructurada la informació. Una falta de coherència global és per exemple, una mala organització dels nodes o uns patrons de lectura mal dissenyats. Una lectura incoherent pot comportar, per exemple, la manca d'atenció del lector en parts importants del document. Un altre dels riscos de la lectura hipertextual que hi està relacionada és la **desorientació del lector** (Bowie, 2001). Aquesta succeeix quan el lector no és capaç d'ubicar la informació amb la que interacciona dins d'una estructura general o bé quan no concep un camí per moure's d'un node d'informació a un altre i no percep el volum ni la profunditat de la informació amb que interactua.

Factors com la manca de coherència o la desorientació del lector pot portar a una **sobrecàrrega cognitiva** en el lector que impedeix que tingui lloc un aprenentatge efectiu (Salinas, 1994; Gosse et al., 2002; Amadiieu et al., 2005).

c) Requeriments per al disseny de la hipertextualitat

Com ha de ser aquesta organització no lineal de la que parlava anteriorment? En la figura 8 he presentat diferents patrons hipertextuals proposats per Jonassen (1986), Oliver (1995) i Wang (1998). Si l'hipertext té molts vincles, qualsevol unitat d'informació es pot enllaçar amb qualsevol altra. En aquest cas, no s'estableixen uns patrons de connexió gaire clars, i per aquest motiu, el lector difícilment pot establir relacions profundes entre les parts (Troffer, 2001). Ara bé, aquest patró hipertextual pot ser molt útil per relacionar d'una manera molt immediata moltes informacions de cop i per accedir en poc temps a grans volums d'informació. Això succeeix per exemple, en el model Viquipèdia, on el lector pot canviar ràpidament d'informació en funció de les necessitats de cada moment. Ara bé, **si el que es vol aconseguir durant la lectura és que el lector organitzi la informació d'una manera profunda, caldrà una estructura de nodes i vincles clara i determinada**. En molts hipertextos existeixen unitats d'informació més globals (hi ha qui ho anomena nodes de composició) i unitats d'informació més específiques (nodes atòmics), i entre elles s'estableix una relació jeràrquica. D'aquesta manera, s'estarà fomentant una estructuració jerarquizada del coneixement, en concordança amb el foment d'un bon aprenentatge, on les diferents peces d'informació s'organitzen entorn de l'argument central.

A més a més, és important que es **representi l'organització hipertextual de manera gràfica** (Thüring, 1995). Segons de Jong (2002), els lectors que llegeixen un hipertext amb una representació gràfica de l'estructura, no memoritzen millor el seu contingut però adquireixen d'una manera més profunda la relació entre les parts. També Salmerón (2009) mostra com aquesta representació és especialment útil per a la comprensió quan la informació és complexa. Finalment, Hooijdonk (2006) proposa que disposar d'una concepció espacial de l'estructura del contingut pot ser una eina potent per a la seva comprensió. Per tots aquests motius, dels diferents sistemes d'accés centralitzat al contingut²⁰, els mapes de navegació permeten una representació de l'estructura de nodes i vincles. Assimilar aquests mapes de navegació a mapes conceptuals (és a dir, estructures de nodes i vincles conformats per conceptes i relacions entre conceptes) permet al lector una major presa de contacte amb l'estructura del contingut, i per tant, possibilita que aquest s'organitzi d'una manera més consistent.

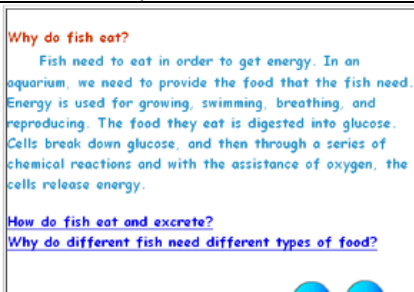
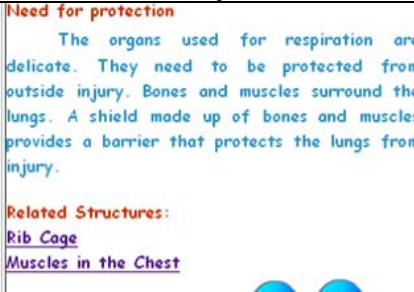
Pel que fa als vincles²¹, una organització hipertextual jerarquizada implica l'ús de pocs vincles, dissenyats per anar dels nodes més generals als més específics. Segons Troffer (2001) perquè siguin més efectius, aquests no han d'estar integrats en el text en forma de paraules destacades, sinó suficientment separats del text com per no interrompre excessivament el procés de lectura. **D'aquesta manera s'evita trencar els ritmes de lectura i es pot fomentar una lectura més coherent** (un cop s'ha llegit una unitat d'informació s'accedeix a una altra a través d'un vincle). A més a més, si aquests enllaços estan integrats en el procés de lectura, cal formular-los de manera que s'expliciti la relació entre els nodes. Una manera d'escriure'ls és a través de preguntes que parteixin de la informació existent en un node i que es responguin amb

²⁰ En la taula 3 proposo diferents sistemes d'accés centralitzat a la informació.

²¹ En la taula 4 proposo diferents tipus de vincles.

el procés de navegació. Segons Dee-Lucas i Larkin (1995) en la lectura hipertextual cal tenir molt clares les fites d'aprenentatge, i per tant, formular preguntes en forma d'enllaç pot ajudar a clarificar on va el lector en cada moment. Per contra, aquells vincles com ara “clicka aquí”, són poc significatius i no ajuden a entendre cap a on s'està navegant.

En la taula 10 mostro dues pàgines web d'un mateix lloc web, del projecte educatiu nord-americà *Reeptools*²², tots dues dissenyats per a l'ensenyament de la Biologia. En ambdues pàgines web es col·loquen els vincles al final d'un paràgraf. En el cas de l'esquerra aquests es formulen com a qüestions derivades de la lectura del text. Accionant qualsevol dels dos vincles, s'accedeix a una altra web on es dona resposta a la pregunta formulada. En canvi, en la web de la dreta els vincles són molt menys aclaridors, ja que després de donar un conjunt d'informació es proposen “temes relacionats”, però sense explicitar quina és la relació. Per tant, un ús dels vincles com els de l'esquerra explota molt més la seva potencialitat en el procés de lectura hipertextual.

Exemple de vincles col·locats a final del paràgraf	
Node amb vincles que han estat formulats en forma de pregunta. Cada node pretén respondre una pregunta formulada en nodes precedents.	En acabar el text, es proposen “nodes relacionats”, però no s'especifica la relació entre aquesta web i les de destí de cada enllaç.
	

Taula 10

Quant als vincles externs, és a dir, aquells que porten a altres llocs web, és important distingir-los visualment dels vincles interns, i dissenyar-los de manera que s'obri una nova finestra del navegador si no es vol interrompre la navegació a través del lloc web (Troffer, 2001).

8.2.2. Aprenentatge a través de la multimedialitat

Amb la incorporació del canal auditiu i dels canvis en la visualització (dinamisme), anteriorment definits, es generen noves possibilitats de representar la informació, comparat amb les possibilitats que ofereixen els textos impresos²³. *Com intervenen aquestes representacions en el processament d'aquesta informació, la comprensió i l'aprenentatge?*

²² <http://reptools.rutgers.edu>

²³ Com les que he mostrat en la taula 5.

a) Potencialitats per a l'aprenentatge

Tal com he exposat en el subapartat anterior (Física a través d'hipermèdia), en la literatura existeix el consens de que la comprensió d'un missatge pot millorar a mesura que s'utilitzen més modalitats i llenguatges per representar-lo. Per aquest motiu, l'ús de vídeos, animacions, etc., permet enriquir molt la qualitat i la quantitat d'informació que es dona respecte als textos impresos, els quals només permeten mostrar imatges estàtiques. Per exemple, el poder representar fenòmens físics dependents del temps (un desplaçament, una oscil·lació, etc.) a través d'una animació millora la capacitat dels alumnes d'entendre aquests fenòmens (Esquembre et al., 2004).

Les imatges poden ser eines molt potents per representar conceptes, especialment **per l'alumnat que té més desenvolupades les capacitats espacials-visuales que les textuals** (Austin, 2009). Per altra banda, segons els diferents estudis fets sobre el processament de la informació multimèdia, la incorporació del so millora la capacitat de processar informació, perquè allibera càrrega cognitiva i elimina la competició per l'atenció visual, la qual es pot destinar a veure imatges en comptes de llegir text (Cook, 2006).

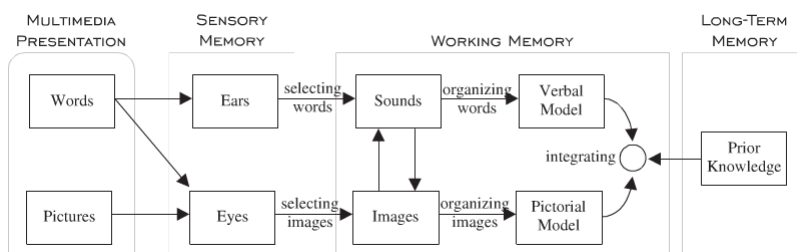


Figura 17a: Representació del processament de la informació proposat per Mayer (2001).

b) Problemàtiques i limitacions

Per començar, cal tenir en compte que **no qualsevol tipus de presentació millora el processament de la informació**. Hi ha combinacions multimèdia que carreguen²⁴ la memòria de treball de forma innecessària. Per exemple, quan apareix text escrit i el text narrat via so simultàniament, segons el principi multimèdia de redundància, es promou un excés de càrrega cognitiva, ja que es força al lector a processar la mateixa informació provinent de dos canals (Mayer, 2001).

Més enllà de les teories multimèdia, també cal tenir en compte que **l'ús de representacions i dissenys visuals en materials educatius no garanteix una interpretació adequada d'aquests**. És a dir, podríem dir que *“les imatges no parlen per si soles, no són transparents”*, i per tant, cal reflexionar sobre elles (Pintó et al., 2002), ja que sinó es pot tendir a una interpretació superficial o fins i tot incorrecta respecte al propòsit del seu disseny, en funció del coneixement previ de cada lector i de la seva capacitat visual-espacial (Stelzer et al., 2009). En el cas de les imatges dinàmiques s'accentua encara més aquesta necessitat, ja que el seu processament

²⁴ La càrrega cognitiva és el procés mental associat a l'ús de la memòria de treball en la ment humana. Se sap que els recursos cognitius necessaris per aprendre depenen de la pròpia complexitat de la tasca (càrrega intrínseca), de l'esforç addicional determinat per la presentació (càrrega extrínseca) i dels recursos destinats a construir i automatitzar esquemes en la memòria de llarg termini (càrrega germana). L'objectiu de la Teoria de Càrrega Cognitiva és trobar la manera d'optimitzar el procés de càrrega cognitiva minimitzant l'extrínseca amb un adequat *instructional design* i deixar recursos cognitius lliures per a la càrrega germana.

acostuma a ser molt superficial (Ploetzner et al., 2006). **En molts casos els beneficis educatius d'aquestes imatges dinàmiques no són els esperats**, ja que el lector necessita més temps i recursos cognitius per processar les imatges del que pot semblar a simple vista (Cook, 2006).

Overview of Instructional Design Considerations and Rationale for Use	
Instructional Design Consideration	Rationale
Multiple representations using the visual modality or visual/verbal modalities should be explicitly linked in time and space	Reduces cognitive load required to integrate multiple sources of information
Dual-mode presentations are typically advantageous over single-mode presentations	Increases the capacity of working memory
Present verbal information through narration rather than written text	Eliminates competition for visual attention
Animations have tremendous potential when representing dynamic phenomena, but in many cases the benefits of animation are not realized	Animations are often complex and fast paced, requiring more cognitive resources for processing
Highly interactive elements should be presented in isolation for novice learners	Reduces working memory load, eliminating the need for simultaneous processing of the elements
Instructional guidance can help learners actively construct an understanding of the concepts	Minimizes the cognitive load required to construct schemas
Redundant information should be avoided	Avoids using cognitive resources for processing information multiple times, especially for learners with more prior knowledge

Figura 17b: Recull de consideracions per al disseny de materials multimèdia (Cook, 2006).

En conclusió, de la mateixa manera que l'ús de materials multimèdia pot facilitar la comprensió del lector, augmentar la seva atenció i motivació, també pot produir una sobrecàrrega cognitiva, interpretacions errònies i fins i tot, pot fomentar concepcions alternatives. Per tant, *quines condicions han de complir aquesta combinació de canals i llenguatges per tal d'optimitzar el processament de la informació?*

c) Requeriments en el disseny de la multimedialitat

A partir de les diferents aportacions de la literatura, he agrupat els principals punts que caldrà tenir en compte. Aquests són:

- I. Els **principis de modalitat i redundància**. La manera òptima de presentar informació és a través d'imatges per pantalla i text narrat. Diferents estudis han mostrat que el text narrat a través del canal auditiu permet al lector destinar tot els recursos cognitius visuals a interpretar les imatges. Tot i així, en cas d'aparèixer el text escrit, el text narrat passa a ser innecessari i contraproduent.
- II. La **contigüïtat espacial i temporal de la informació** presentada a través del text i a través de les representacions visuals. És a dir, la relació entre un text i una imatge es facilita si aquests es presenten visualment a prop, i en cas de presentar imatges i sentir text narrat, és més efectiva la presentació simultània que la successiva, ja que així es redueix la càrrega cognitiva necessària per integrar les múltiples fonts d'informació.
- III. La **coherència i simplicitat de la informació**. Es considera "soroll" tots aquells elements que no aporten informació però carreguen la capacitat de processar informació. Exemple d'això són l'ús de música en les animacions, les representacions visuals poc comprensibles o les imatges innecessàriament animades. Per tant, cal trobar un equilibri entre ajudar el lector a mantenir l'atenció i alhora no produir un excés de càrrega cognitiva (Muller et al., 2008)

Altres requeriments presents en la literatura fan referència a l'ús de diferents llenguatges per representar una informació. Per exemple, segons Acuña (1999) aquesta informació és útil en la mesura en que es dona un *scaffolding* necessari per entendre els diferents llenguatges combinats, o segons de Jong (2010), cal fer explícita la traducció entre els diferents llenguatges.

8.2.3. Aprenentatge a través dels recursos interactius

Dintre de la varietat de recursos interactius²⁵ integrables dins d'un entorn hipermèdia, en la taula 7 he recollit els més utilitzats per a l'ensenyament de les ciències. En la discussió que presento a continuació em centro, principalment, en l'ús d'aplicacions *applet*, tot i que, com ja he dit, la frontera entre aquestes i els programaris independents no està clara.

a) Potencialitats per a l'aprenentatge

L'ús de qualsevol aplicació executable des d'un navegador web (o una interfície equivalent en el cas dels llibres digitals) pot aportar al lector experiències diferents a la de la simple lectura. Aquestes aplicacions permeten oferir al lector una gran varietat d'activitats que fomentin **un aprenentatge més constructiu i menys transmissiu que la simple lectura del text**, l'observació de les imatges o la resposta de qüestions exposades en forma d'enunciats en els llibres analògics. Gràcies a les diferents tipologies d'aplicacions de la taula 7, la varietat de tasques que l'alumne pot realitzar van des de les activitats de relació, de memorització, d'omplir forats, etc., fins als exercicis de respondre tests *online*, fer mesures de fotografies o vídeos, visualitzar simulacions, modificar valors i fer prediccions, elaborar experiments mentals de l'estil "*what if*", controlar la seva visualització, simular una tasca al laboratori, controlar variables, construir models qualitius i quantitius de relacions entre variables i entre conceptes, etc., (Clinch et al., 2002; Hennessy et al., 2007; de Jong, 2010).

En el cas específic de la Física molts estudiants consideren les equacions l'únic llenguatge de la Física i l'única manera de resoldre problemes (Esquembre et al., 2004). Per tant, **presentar aquesta varietat d'activitats permet enriquir molt la manera d'enfocar l'aprenentatge** de la Física. *Per exemple, amb les simulacions els estudiants poden variar paràmetres, controlar-les, analitzar els sistemes representats de forma qualitativa, donar explicacions al seu comportament i familiaritzar-se amb les diferents representacions visuals que porten associades.*

Al mateix temps, moltes d'aquestes aplicacions permeten a **l'alumne rebre un feedback útil per a orientar-lo i avaluar-lo**. Això succeeix principalment en les aplicacions tancades i les activitats on cal seleccionar una opció entre vàries (múltiple choice). D'aquesta manera, encara pot arribar a enriquir-se més la relació entre l'usuari i la interfície, sempre i quan s'optimitzi la manera amb que una aplicació pot donar aquest feedback d'una manera rica i significativa per l'alumne.

b) Problemàtiques i limitacions

²⁵ De la varietat d'accepcions del terme interactivitat, com ja he justificat, tan sols em centro en la varietat de recursos interactius (taula 6).

Tot i aquesta varietat d'activitats, cal tenir en compte que no totes les aplicacions interactives existents fomenten el mateix tipus d'habilitats cognitives (Pintó et al., 2010). En alguns casos, **existeixen aplicacions molt vinculades a una avaluació sumativa especialment conductista**, que tan sols avalua la capacitat de memoritzar definicions i de col·locar cada paraula en el seu lloc, (exercicis de *multiple choice*, *fill the gap*, sopes de lletres, exercicis per relacionar preguntes amb respostes, ordenar accions seqüencials, etc.). A més, en molts d'aquests casos, les accions que efectua el lector estan molt vinculades a la dicotomia correcte/incorrecte (Novell et al., 2003; Pintó et al., 2010), i per tant, s'allunyen del que anteriorment es defineix com a aprenentatge profund. Una altra problemàtica associada a aquest tipus d'avaluacions és el que Faletič (2010) anomena "conductisme lineal". Aquest succeeix quan la successió d'activitats que se li proposen al lector són els mateixos tant si s'ha respost adequadament com incorrectament.

Una altra problemàtica associada a l'ús d'aplicacions interactives és la possible manca d'estructura en forma de seqüència d'aprenentatge. Si el lector no és conscient de què significa cada representació, si no entén qualitativament el sistema o el fenomen que té al davant, l'ús d'aquestes aplicacions esdevé poc útil o fins i tot contraproduent. Quan el lector desconeix aquests fenòmens o bé quan s'utilitzen llenguatges que el lector no coneix prou o que no sap integrar, pot donar-se la situació en que l'aplicació es converteixi en **un joc de prémer botons o bé un exercici d'assaig-error** on no s'entén el què s'està fent.

c) Requeriments en l'ús de recursos interactius

D'entre la varietat de recursos interactius, *què és important tenir en compte?* A continuació enumero alguns dels requeriments més importants basant-me en diferents criteris, com ara els de Pintó (2010) i de Jong (2010) i incorporant altres aportacions de la literatura.

- I. Cal garantir **una varietat de recursos suficientment rica com per promoure diferents tipus d'habilitats**. Això no implica que en un moment donat es puguin utilitzar activitats amb filosofia avaluadora, sinó que no totes les activitats hagin de tenir aquest component. En la mesura en que s'utilitzin diferents aplicacions es podrà fomentar la descripció qualitativa de fenòmens (per exemple analitzant vídeos), la predicció (a partir de simulacions), la modelització (amb programari per modelitzar) o l'establiment de relacions conceptuals, sempre amb el software específic per fer-ho.
- II. En aquelles activitats on es rep un feedback cal procurar que aquest sigui significatiu i que permeti al lector entendre en cada moment perquè la seva resposta és més o menys correcta. Per exemple, un exercici en el que el lector ha de respondre fent una elecció de múltiples respostes, l'aplicació pot donar un feedback de l'estil "correcte/incorrecte". Ara bé, **també es pot preveure el tipus de raonament que pot portar a cada lector a triar una resposta o altra**, i donar un feedback personalitzat on s'especifiqui perquè cada opció és correcta o incorrecta (Faletič, 2010).

- III. Cal que les activitats que es proposen fomentin **un conflicte cognitiu en l'alumne** (Limón, 2001) que vagi més enllà del joc i de la pràctica d'assaig-error i de les activitats repetitives i memorístiques.
- IV. Cal que garanteixin **una representació de fenòmens i sistemes a través múltiples llenguatges**, sempre suficientment integrats i interrelacionats i garantint que el lector hi està familiaritzat (Ainsworth, 2006).
- V. Cal un disseny que garanteixi la **integració d'aquestes activitats amb la resta dels elements de l'hipermèdia** (el text, les activitats i les diferents representacions visuals) (Baade et al., 2008), així com la integració d'aquestes activitats en una seqüència d'aprenentatge determinada. Per exemple, a Internet es poden trobar molts biblioteques de recursos amb simulacions de tota mena i altres aplicacions, però sovint sense text, sense un acompanyament didàctic que permetin optimitzar el seu ús.

8.2.4. Síntesi

Després d'haver exposat l'aprenentatge a través de materials hipermèdia, he volgut resumir les idees claus desenvolupades, i per fer-ho, utilitzo un quadre resum en la figura 18. Es pot observar que hi ha tres columnes corresponents a les conclusions obtingudes en els punts 8.2.1, 8.2.2 i 8.2.3. A més a més, he dividit la figura en tres files, que corresponen a les "potencialitats", les "limitacions" i els "requeriments" per a cadascuna de les dimensions de l'aprenentatge amb hipermèdia.

8.2. Quines potencialitats, limitacions i requeriments cal tenir en compte en el disseny de materials educatius hipermèdia per optimitzar la seva funció educativa?




	A nivell de hipertextualitat	A nivell de multimedialitat	A nivell de interactivitat
 Potencialitats	Seguir diferents ritmes de lectura, explorar contextos amplis, prendre un control de l'aprenentatge, connectar les diferents parts i donar significat a aquestes connexions.	Aconseguir una comprensió més profunda de fenòmens complexos, tenir una representació múltiple d'idees, aprofitar la combinació del codi visual i l'auditiu i ajudar als estudiants amb estil eminentment visual.	El paper actiu de l'alumnat. Les experiències diferents a la simple lectura del text. Una lectura més significativa. Rebre un feedback.
 Limitacions	Els vincles poden distraure, desorientar o provocar una sobrecàrrega cognitiva. Els vincles poden estar mal formulats o ser poc significatius.	No totes les combinacions multimèdia són eficients, l'ús d'imatges dinàmiques no és sempre efectiu i es corre el risc de caure en representacions simplistes i induir concepcions alternatives.	Només activitats superficials (memoritzar, associar) amb avaluació sumativa, conductisme lineal, poca integració entre les activitats amb la resta de la seqüència d'aprenentatge.
 Requeriments	Una lectura a través de vincles significatius formulats com a interrogants per resoldre. Una estructura jeràrquica corresponent a les relacions jeràrquiques entre conceptes. La representació de l'estructura hipertextual.	Mantenir els principis de modalitat i redundància, garantir una contigüïtat espacial i temporal de la informació, procurar una simplicitat i coherència de la informació, fer explícits la traducció entre els diferents llenguatges i representacions.	Un repte cognitiu per a l'aprenent, una varietat rica de recursos que desenvolupi diferents activitats, que doni un feedback ric i significatiu, que connecti i relacioni les diferents representacions i que estigui convenientment integrat en un cicle d'aprenentatge.

Figura 18: Resum de les idees clau en l'aprenentatge a través d'hipermèdia.

8.3. Les especificitats de l'aprenentatge de la Física

La darrera pregunta formulada abans d'abordar la qüestió principal era *Quines especificitats de l'aprenentatge de la Física s'han de tenir en compte en el disseny de materials hipermèdia?*

Per respondre-la, he volgut tenir en compte els trets característics d'aquesta disciplina que fan que el seu aprenentatge hagi d'afrontar alguns punt particularment importants²⁶. Tot i ser un dels punts més interessants del treball i un dels més vinculats a la feina realitzada al llarg del curs en el Màster de Recerca, aquí tan sols en faig un breu esment, que prové de la combinació entre els punts de l'apartat 7.2 (aprenentatge) i 7.3 (Física). Un cop resposta a la pregunta, estaré en condicions de respondre la qüestió principal de recerca.

a) Afrontar l'abstracció i la idealitat dels models i les representacions

Per un bon aprenentatge de la Física, és important entendre **la naturalesa de les ciències**. És a dir, l'alumne ha d'entendre que la ciència es construeix a partir de models interpretatius de la realitat. En el cas de les representacions digitals, com he exposat anteriorment, es corre el risc de confondre les simulacions ideals amb els fenòmens reals, provocant així una distorsió respecte la naturalesa de les ciències.

És important explicitar la distinció entre la realitat i el model (Pintó et al., 2004) per fer entendre a l'alumne la diferència entre la simplicitat que comporta la idealització del món i la complexitat real d'aquest (Hennessy et al., 2007). En el cas dels hipermèdia, per tant, **serà important explicitar en tot moment la naturalesa ideal de les simulacions** (Gnesdilow et al., 2010).

b) Afrontar la formalitat de la disciplina

Si la Física és una disciplina que descriu el món de manera formal i rigorosa, definint variables i relacions entre elles de manera unívoca, un aprenentatge de la Física hauria permetre a l'estudiant descriure i interpretar el món amb aquest rigor i univocitat. A més, donada la forta vinculació entre Física i Matemàtiques, un domini profund de la Física passa per un domini de les Matemàtiques com a eines necessàries en el pensament físic.

Ara bé, això no implica que les definicions, encara que rigoroses, siguin indicatives del coneixement físic, ni tampoc que aprendre Física s'hagi de limitar a memoritzar equacions i procediments per resoldre problemes matemàtics. Per tant, ni les definicions ni els exercicis matemàtics són eines adients per avaluar l'aprenentatge de la Física.

En aquest sentit, el que sí que suposa un aprenentatge reeixit de la Física **és el fet d'adquirir la capacitat d'entendre i donar explicacions del món amb el llenguatge de la Física** (Scoth, 2010), fortament allunyat del llenguatge quotidià. Aquesta

²⁶ Evidentment, totes les disciplines del coneixement humà són diferents, i per tant, la seva didàctica ha de fer front a les seves especificitats. En aquest cas no vull mirar el contingut (evidentment, cada disciplina té un contingut específic) sinó com la naturalesa de la disciplina determina el seu aprenentatge.

capacitat s'ha de basar en la **comprensió qualitativa, flexible i profunda dels fenòmens**, que permeti abordar la resolució de problemes en una varietat de contextos. Tot això implica que sigui important desenvolupar activitats que no fomentin la memorització i l'avaluació de definicions o càlculs matemàtics, sinó disposar d'una varietat de recursos (modelització, aplicacions obertes, simulacions, etc.) capaços de dotar a l'aprenent d'aquest llenguatge i pensament físic. Aquests recursos haurien de permetre a l'aprenent passar del llenguatge qualitatiu al quantitatiu, en comptes de passar del no res a l'anàlisi matemàtica i quantitativa dels fenòmens.

c) Afrontar la jerarquia del pensament físic

En el *Review "Learning to think like a Physicist"*, Van Heuvelen (1991) proposa l'organització jeràrquica del coneixement conceptual físic com a element clau del pensament físic expert, en consonància amb el model proposat per l'escola de Massachusetts²⁷. Aquesta estructura jeràrquica no només consisteix en el fet de tenir els conceptes fortament entrellaçats, sinó també que aquests enllaços es formin al voltant de grans idees estructurants i que l'accés a cada concepte es faci a través d'aquestes i no pas a través de la revisió exhaustiva d'un llistat de conceptes i equacions memoritzades (Bransford et al., 1999). Una organització jeràrquica del coneixement hauria de partir dels conceptes fonamentals i estructurants i anar progressivament als conceptes que se'n deriven, per acabar arribant als casos concrets i les equacions específiques de cada situació particular (Discenna, 1998).

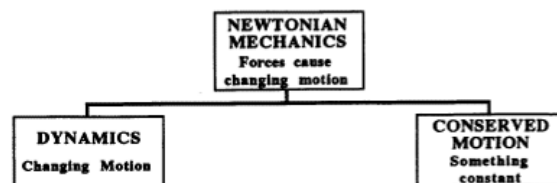


Figura 19: Exemple de l'organització jeràrquica de la mecànica newtoniana al voltant de l'argument central d'aquest camp de la Física, consistent en que *"les forces són les interaccions causants dels canvi en el moviment dels cossos"*. A partir d'aquí, s'estudien els casos particulars quan la suma de forces és zero o quan és diferent de zero.

d) Afrontar la varietat de registres i la densitat en les representacions ajudant l'alumne a dominar els diferents llenguatges

Un aprenentatge reeixit de la Física passa pel domini dels diferents llenguatges que serveixen per representar un concepte, un fenomen, un sistema o un model. Aquests diferents llenguatges anteriorment exposats són inherents a la disciplina i són complementaris els uns amb els altres, ja que a través de la seva combinació es possibilita una comunicació de les idees molt més profunda (Van Heuvelen, 1991; Ainsworth, 2006).

Per tant, cal que els materials educatius fomentin aquesta capacitat d'entendre, interpretar i dominar la varietat de registres existents en la Física. Tot i així, en el procés de disseny d'aquests materials existeix la tendència a pensar que qualsevol representació és comprensible per si mateixa i que l'autor està comunicant allò que vol en cada moment. Això no succeeix, perquè, com he exposat anteriorment, les

²⁷ Exposit en el punt 7.2.1. al parlar de la diferència entre el pensament expert i novell.

representacions visuals (tant estàtiques com dinàmiques) no parlen per si soles i cal un marc conceptual per entendre-les.

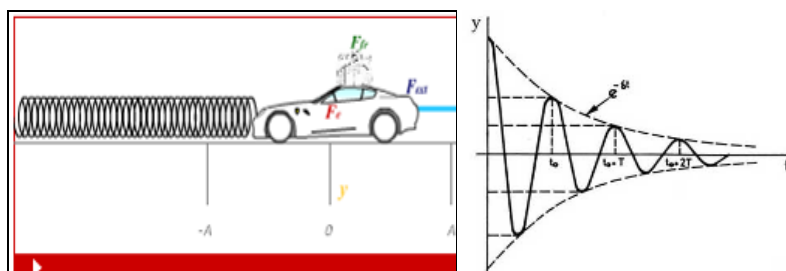


Figura 20: En aquesta animació es pot veure el moviment oscil·latori esmorteït d'un mòbil lligat a una molla. Aquesta representació pot arribar a ser molt útil per complementar el text en el qual es parli de l'esmoreïment d'una oscil·lació i de la representació gràfica de la posició en funció del temps.

Si en el disseny de materials educatius clàssics és important garantir una comprensió adequada de les representacions visuals, encara és més important garantir-la en el disseny de materials hipermèdia²⁸. Això és així perquè amb les potencialitats de les representacions digitals anteriorment exposades (fenòmens complexos, difícils de percebre, allunyats de la vida quotidiana del lector, etc.), el salt entre el que es vol comunicar i la capacitat del lector per interpretar-ho pot fer-se encara més gran.

Per tant, en el disseny de materials hipermèdia per l'aprenentatge de la Física, a més dels requeriments anteriorment exposats respecte a les representacions multimèdia, cal destinar el temps i el bastiment necessari per resoldre problemes qualitativament a través de la interpretació de representacions múltiples i la traducció d'un llenguatge a l'altre. Alhora, també cal que l'avaluació i el feedback que es doni en les aplicacions interactives tinguin en consideració aquesta multiplicitat i densitat de representacions.

Amb la presentació d'aquestes quatre especificitats de l'aprenentatge de la Física queda resposta la pregunta del subapartat 8.3. Aquesta era la darrera pregunta de l'apartat 8, i amb ella s'acaba la segona part del desenvolupament teòric.

En aquesta segona part del desenvolupament teòric, he combinat i trobat els punts d'intersecció entre els camps teòrics dels hipermèdia, la Física i l'aprenentatge. Considero que a través d'aquestes combinacions i punts d'intersecció he obtingut un conjunt de resultats que ara cal sintetitzar i extreure'n les conclusions pertinents. Tot això quedarà exposat en el següent apartat de la memòria.

²⁸ Tot i així, autors com de Jong (2010) consideren que encara cal molta recerca al voltant de com els alumnes interpreten les representacions digitals en l'ensenyament de la Física.

9. Síntesi dels resultats i conclusions

El desenvolupament teòric exposat al llarg dels apartats 8 i 9 de la memòria m'han permès respondre a les preguntes en la figura 5. De la mateixa manera que al començament del treball m'havia formulat un conjunt de preguntes, he anat responnent-les tal com exposo les figures 9, 11, 14, 15 i 18. En la següent figura exposo les principals idees de cada camp teòric abordades fins al moment:

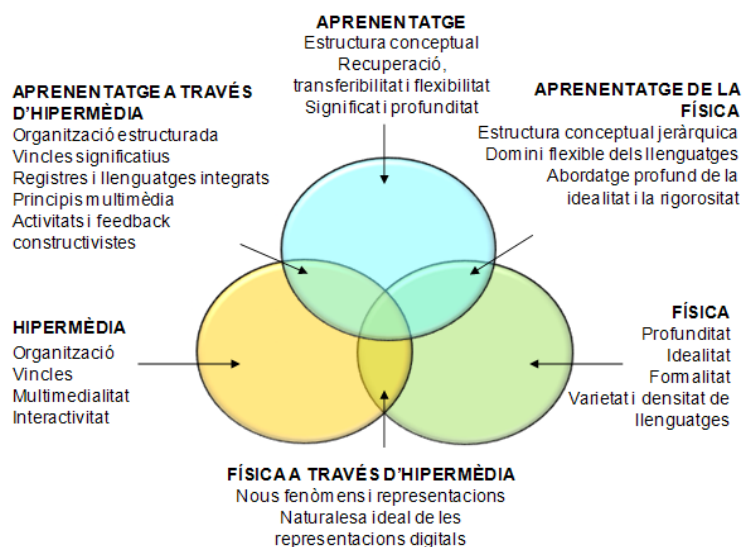


Figura 21: Resum gràfic dels camps conceptuais a partir de les idees claus dels diferents camps abordats. Tots ells contribueixen a determinar com han de ser els hipermèdia educatius per a l'aprenentatge de la Física.

De la regió central de la figura 21 apareixen tot de característiques que els materials hipermèdia educatius de Física haurien de complir. Aquestes característiques són el resultat de la recerca, i les he classificat al voltant de cinc punts, que responen a:

- a) com organitzar la informació en una estructura de nodes i vincles,
- b) com formular els vincles entre les parts,
- c) com explotar la multimedialitat,
- d) com abordar la naturalesa ideal de les representacions ideals i
- e) com utilitzar la varietat de recursos interactius.

A continuació desenvolupo cadascun d'aquests cinc punts. A més a més, com que al llarg del treball m'he mantingut en un pla molt teòric i conceptual, per cadascuna de les característiques que exposi utilitzaré exemples diferents concrets de diferents llocs webs disponibles a la xarxa.

a) Com organitzar l'estructura en nodes i vincles de l'hipermèdia?

A partir de les discussions entorn de l'aprenentatge (concretament a l'organització del pensament expert) així com entorn de l'aprenentatge a través de la hipertextualitat i les especificitats de l'aprenentatge de la Física, les característiques que hauria de tenir un hipermèdia com el que cerco són:

- Una **estructura hipertextual jeràrquica**, que presenti els continguts en forma d'arbre i no en forma de llista, que permeti al lector entendre el perquè d'aquesta estructura a partir de la seva semblança amb un mapa conceptual.
- Una **representació del contingut**, dels diferents nodes d'informació i de les relacions (vincles) que hi ha entre ells, a través d'un mapa de navegació que agilitzi l'accés centralitzat a la informació.
- Una estructura de nodes i vincles que respongui a la naturalesa dels models estructurants de la Física, on els **arguments centrals i les idees claus ocupin els ordres de jerarquia més alts** i serveixin per relacionar els diferents casos particulars.
- Una estructura que fomenti una **navegació que parteixi de l'anàlisi qualitativa per arribar a la quantitativa**, i que no es presentin d'entrada les equacions que descriuen els sistemes físics sense haver abordat les descripcions qualitatives.

En la figura 21 proposo un exemple d'aquesta jerarquia en el cas particular de l'estudi del so. La idea central és la de so com a vibració, de la qual es deriven dues branques que són "l'oscil·lació associada al so" i "la propagació del so com a ona".

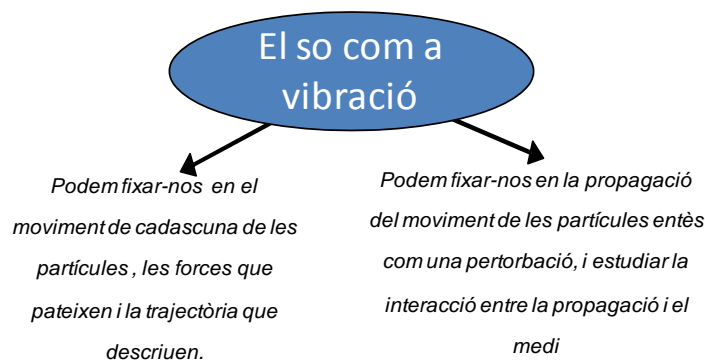


Figura 22: Exemple d'organització conceptual de la Física

Al presentar de forma hipertextual aquesta divisió, es parteix d'una comprensió qualitativa del so, i posteriorment, en la mesura que el lector s'endinsa en cadascuna de les dues branques, pot trobar-se amb les equacions del moviment de les partícules i les equacions de propagació de les ones, respectivament.

En la figura 23 es poden observar dues maneres diferents d'exposar el contingut d'un hipertext. Mentre que a l'esquerra²⁹ es reproduïx un format de llista, a la dreta es pot observar un sinòptic³⁰ que relaciona cada node amb els que hi ha al seu voltant. Per tant, mentre el primer sinòptic no explota les potencialitats dels hipermèdia, el segon sí que ho fa.

²⁹ <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/>

³⁰ http://baldufa.upc.edu/arcadi/Acustica/Temes_actiu_hipert.htm

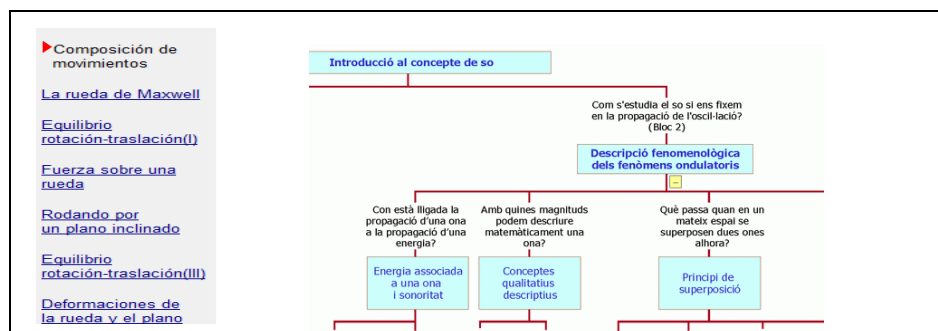


Figura 23: Dos sistemes d'accés centralitzat al contingut d'un hipermèdia

b) Com formular els vincles de lectura d'un hipermèdia?

A partir de la discussió sobre l'aprenentatge a través de la hipertextualitat, i més concretament, de com els vincles intervenen en un procés de lectura, així com a partir dels punts tractats en l'aprenentatge de la Física (especialment la seva jerarquia i formalitat); a l'hora de formular els vincles d'un document hipertextual caldrà:

- **Utilitzar els vincles per estructurar el contingut de manera jeràrquica.** És a dir, presentar els vincles de manera que serveixin per navegar des del argument central fins als casos particulars.
- **Posar pocs vincles en cada node**, suficients com per donar al lector la possibilitat de decidir però no tants com per generar-li més desorientació de la necessària.
- **Formular els vincles en forma de pregunta:** una pregunta que es generi de la informació provinent d'un node i que es respongui amb la navegació cap al node al que va dirigit el vincle. D'aquesta manera es genera un repte concret al lector i els vincles són significatius i estableixen relacions entre les parts del document.
- Que aquests vincles siguin **correctes des del punt de vista conceptuals**, seguint la naturalesa unívoca i rigorosa de la Física. És a dir, els vincles han de servir per establir relacions clares entre les diferents idees de la Física, i han de denotar aquesta manera rigorosa de relacionar els conceptes.

En la figura 24 comparo dues maneres de presentar els vincles d'un lloc web. a l'esquerra es pot veure un mapa de navegació d'un web³¹ educatiu de Física de l'Estat sòlid. A primera vista es pot observar una organització jeràrquica del contingut, amb un conjunt de branques entorn al node "Física de l'estat sòlid" i tot de conceptes interrelacionats entre ells. Ara bé, per començar no apareixen vincles entre les parts, i per tant, no s'estan establint relacions clares entre aquestes parts. A més a més, les connexions que es poden observar són de dubtosa qualitat des del punt de vista conceptual. Per exemple, en la branca dreta apareix el terme " propietats magnètiques", el qual es vincula amb "Ferromagnetisme", i posteriorment "Paramagnetisme" i finalment "Diamagnetisme". Ara bé, si el ferromagnetisme és un tipus particular de propietat magnètica, el paramagnetisme i el diamagnetisme haurien d'estar a la mateixa altura que el ferromagnetisme, i no pas un a sota de l'altre.

³¹ <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

Amb aquest exemple pretenc mostrar que establir els vincles entre les parts d'un hipertext no és una qüestió trivial, sinó que requereix tenir molt clar el missatge que es vol donar a través de l'estructura de nodes i vincles.

A la dreta de la figura 24 mostro tres preguntes que serveixen per enllaçar la idea de "moviment vibratori" amb els diferents tipus de moviments vibratoris que s'estudien en un curs de mecànica (moviment harmònic simple, moviment oscil·latori esmorteït i moviment oscil·latori forçat). En aquest cas cada enllaç està formulat com una qüestió concreta. D'aquesta manera s'està explicitant el perquè de cada moviment en funció de les forces externes que intervenen en el sistema i per tant, s'està mostrant al lector una organització del contingut jeràrquica i conceptualment correcta.

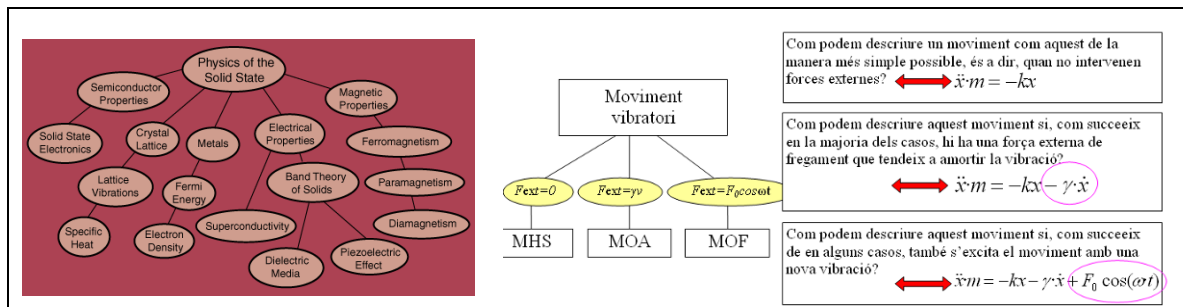


Figura 24: A la dreta es poden veure com els enllaços formulats en forma de pregunta responen a la pròpia organització conceptual del pensament físic. A l'esquerra no hi ha enllaços i les relacions entre els conceptes són poc rigoroses.

c) Com explotar la multimedialitat dels documents hipermèdia?

Tenint en compte les potencialitats de les representacions multimèdia exposades al llarg del treball i les seves implicacions en l'aprenentatge, així com de la naturalesa de la Física i la seva representació, concloc que en el disseny d'entorns hipermèdia amb la finalitat proposada s'ha de tenir en compte:

- El compliment dels diferents **principis multimèdia** exposats al llarg del treball (en especial en el punt 8.2.2), com per exemple el principi de modalitat, el principi de redundància o els principis de contigüitat espacial i temporal.
- **La utilització del dinamisme visual només en els casos en que sigui necessari**, ja sigui per aportar nova informació o bé per abordar i simplificar la densitat de les representacions físiques. D'aquesta manera, caldrà evitar aquelles aportacions classificades anteriorment com sorolloses.

En la taula 11 exposo diferents exemples d'aquesta gestió del dinamisme visual. Presento algunes de les potencialitats multimèdia i quin és el seu ús òptim en materials hipermèdia educatius de Física.

Ús d'imatges dinàmiques per a representacions de la Física		
Potencialitats multimèdia	Situacions en les que poden aportar valor educatiu	Situacions en les que no aporten valor educatiu i poden ser perjudicials
Moviment de les imatges	Quan s'estudien fenòmens dinàmics, en els quals el temps és una variable rellevant i es vol destacar visualment una variació determinada.	Quan el moviment té només una funció estètica, com succeeix en un GIF animat amb moviments periòdics i repetitius.

Canvis en el color	Quan aquest representa un canvi en la representació ³² , per exemple, representar diferents magnituds físiques en moments diferents.	Quan a través de canvis de color es pot induir a entendre aquest com a propietat d'un sistema quan en realitat no ho és.
So	Quan s'estudia el so (en acústica) o momentàniament per acompanyar la reproducció de fenòmens real amb vídeos.	Per acompanyar amb text narrat el text escrit o per afegir música.
Ressaltar text o una part de la imatge	Per focalitzar l'atenció en un moment donat sobre un element determinat d'una representació visual.	Quan té una funció estètica (banners dinàmics en compte de títols estàtics) o quan s'utilitza en excés al llarg d'un document.

Taula 11

Davant del conflicte entre una possible funció fàtica del llenguatge a través del dinamisme visual i el rigor de la informació que es dona, **cal ser molt curosos amb no fomentar interpretacions errònies o concepcions alternatives** del missatge que es vulgui donar. En la figura 25 mostro dos exemples molt diferent de l'ús dinàmic de colors amb dos resultats educatius molt diferents.

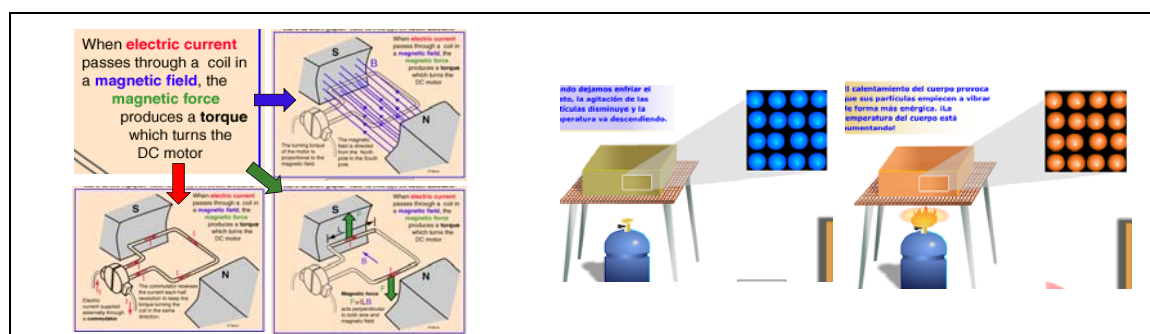


Figura 25: Exemple d'ús de colors en els hipermèdia

En la part d'esquerra s'observa com en un hipermèdia³³ s'utilitzen diferents colors per referir-se a magnituds físiques diferents. Al accionar cadascun d'aquests termes acolorits, la imatge dinàmica d'un motor elèctric representa respectivament el camp magnètic, la intensitat de corrent o la força magnètica. D'aquesta manera, gràcies a canvis en els colors s'està fent front a la densitat de representacions gràfiques utilitzades per mostrar totes les magnituds que intervenen. A través d'una imatge visualment dinàmica es pot "descondensar" una relació física que es descriu matemàticament a través de l'equació $T = i \cdot [r \times (L \times B)]$.

En canvi, en el costat dret de la figura 25 apareix una animació³⁴ en la que es representa l'escalfament d'un materials i es mostra l'agitació de les partícules associada a la temperatura. A mesura que s'escalfa el material es pot veure en l'animació com les partícules microscòpiques que cada vegada vibren més ràpidament (teoria cinètico-molecular) també canvien de color: de blau (fred) a vermell (calent). D'aquesta manera s'estan induint o fomentant diverses interpretacions errònies en

³² Existeixen propostes d'innovació educativa que han proposat codis de colors per representar no només canvis en la temperatura, sinó també en la pressió, el potencial elèctric o el potencial químic (Rosenberg, 2010).

³³ <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.htm>

³⁴ <http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1062>

l'animació, com ara que les propietats macroscòpiques temperatura o color poden associar-se a cada partícula microscòpica.

Com a exemple d'ús d'imatges en moviment, en la figura 28 es pot observar una animació per estudiar la llei de Snell on hi ha elements de la representació que es mouen i d'altres que no. A partir del moviment de certs elements s'està donant una informació rellevant en el context: el desplaçament dels fronts d'ona. En aquest cas, també es pot aturar i reprendre el moviment, així com fer-lo córrer fotograma a fotograma. Així es permet al lector controlar el moviment i aturar-lo quan es vulgui centrar en altres elements del disseny visual que no requereixen moviment, com per exemple, la relació entre els angles d'incidència i de refracció.

d) Com abordar la naturalesa ideal de fenòmens mitjançant les representacions digitals?

De la mateixa manera que l'ús d'eines digitals permet noves possibilitats visuals que el text imprès no permet per representar fenòmens físics, des del punt de vista educatiu també comporta alguns riscos. Per exemple, amb l'ús de simulacions es corre el risc de donar una imatge de ciència distorsionada per la idealitat dels models digitals, convertint aquestes simulacions en una mena de joc totalment desvinculat de la realitat. Amb aquestes representacions també es corre el perill de presentar experiències i fenòmens allunyats del coneixement del lector, de manera que un professor familiaritzat amb les experiències reals les utilitzi per ensenyar física.

Per exemple, una simulació on aparegui algun aparell de Física moderna pot ser una bona eina per estudiar fenòmens com la radiació nuclear, els làsers, etc. Tot i així, si un professor pretén ensenyar-los a través d'una simulació sense que els alumnes compreguin prèviament el seu significat, l'activitat és pot convertir en un simple joc on els alumnes premen botons i veuen com "hi ha coses que es mouen". És important recordar que aprendre passa per la capacitat d'exportar el coneixement après en un context diferent, i aquest no és el cas.

Davant d'aquest tipus de problemàtiques és important:

- Esser conscient que els laboratoris i les experiències virtuals **són complementaries, i en cap cas, substitutòries de les reals.**
- Mostrar i explicitar la idealitat de les animacions digitals en comparació amb els fenòmens reals.
- Integrar els diferents elements del hipermèdia (imatges, activitat, text, enllaços, etc.) **de manera que formin un conjunt coherent** i que permeti utilitzar cada element en el moment convenient.
- Permetre al lector, en la mesura del possible, **interactuar i modificar les variables que intervenen en el comportament de les representacions** de fenòmens, per poder familiaritzar-se millor amb elles i aconseguir un domini més profund d'aquests.

En la figura 26 es pot observar aquesta doble reproducció d'un vídeo real i una animació³⁵. La reproducció d'un vídeo on es poden veure fenòmens reals pot esdevenir una bona manera d'acompanyar les animacions i simulacions, perquè

³⁵ <http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1073>

permet al lector entrar en contacte amb el fenomen d'estudi tal com és en la natura. En el cas concret de l'estudi del magnetisme, un lector novell no té per què estar familiaritzat amb els imans i el seu comportament. Per tant, el fet de reproduir un vídeo on altres estudiants experimenten amb imans pot ajudar a interpretar millor l'animació de apareix a la dreta de la imatge.

Tot seguit, en la figura 27 es pot veure una simulació³⁶ sobre la Llei de Snell. Hi ha un requadre blanc a la dreta on es veu com es tradueix en paraules el que apareix representat gràficament a l'esquerra. Aquesta traducció és especialment útil quan la informació de la imatge no és evident per si sola o bé el lector no té perquè estar acostumat a ella (en aquest cas, la representació d'ones a través dels fronts d'ona). El fet de poder canviar l'angle i els índexs de reflexió permet al lector interactuar amb el fenomen, mentre que si es tractés d'una animació seria més complex aprofundir en l'estudi d'aquest fenomen.



Figura 26: Presentació d'un vídeo i una animació sobre les propietats dels imans.

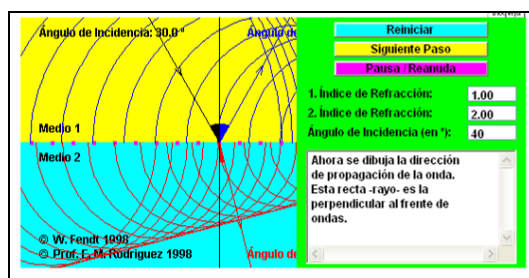


Figura 27: Simulació interactiva per estudiar la llei d'Snell.

e) Com utilitzar els recursos interactius?

Per respondre a aquesta darrera qüestió, he de tenir en compte les consideracions exposades en el punt 8.2.3 (Aprentatge a través dels recursos interactius). Les característiques del disseny de materials hipermèdia que he destacat són la riquesa en la varietat de recursos i activitats que promouen, el repte cognitiu per a l'aprenent, l'estructura hipertextual que fomenti seqüències d'aprenentatge ben dissenyades. De la mateixa manera, serà necessari fer un ús òptim dels diferents llenguatges disponibles en cada moment, connectant-los entre ells i ajudant amb la bastida (scaffolding) necessària per entendre el que s'està veient i el que s'està fent en cada moment.

En la figura 28 mostro una aplicació³⁷ molt comú en l'edició dels actuals llibres digitals. Tot i que la pregunta que es formula en el títol és "què és l'acceleració?", l'activitat que es proposa a l'alumne és elaborar un càlcul numèric a partir d'una fórmula i escriure el resultat en un requadre. D'aquesta manera, la interactivitat de la interfície consisteix en dir si el resultat de l'alumne és correcte o incorrecte. És a dir, s'està utilitzant un recurs

³⁶ <http://www.walter-fendt.de/ph14s/>

³⁷ <http://perso.wanadoo.es/cpalacio/accelera2.htm>

com la interactivitat per recuperar formes d'avaluació tradicionals i conductistes. Això no vol dir que una activitat com aquesta no pugui ser útil en un moment donat d'una seqüència d'aprenentatge. Ara bé, un hipermèdia basat en activitats d'aquest tipus, encara sigui molt comú en l'actual disseny de llibres digitals, és pobre des del punt de vista educatiu i no explota la potencialitat que ofereix la interactivitat.

Figura 28: Exemple d'aplicació interactiva que reproduïx una avaluació clàssica.

En canvi, en la figura 27 (anteriorment presentada) es pot observar un tractament diferent d'una equació matemàtica. En aquest cas, en comptes de l'equació de la velocitat en un MRUA, és la llei d'Snell. El lector pot observar d'una manera qualitativa la relació matemàtica entre variables modificant l'angle d'incidència d'una ona i de l'índex de refracció dels medis, de manera que es converteix en una activitat molt més rica que la substituir valors i aïllar incògnites de l'equació $n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2$. D'aquesta manera, també es poden formular exercicis numèrics i de càlcul, però s'explota molt més la interactivitat de l'aplicació Java.

Finalment, en la figura 29 mostro una seqüència d'aprenentatge d'un dels entorns virtuals de referència en el camp, l'entorn WISE³⁸. En aquesta seqüència es proposa al lector interpretar diferents fenòmens, elaborar prediccions, comparar els resultats amb les prediccions fetes, etc., sempre a partir d'anotacions en una finestra que guarda la informació *online* mentre l'aplicació està oberta. Una interfície com aquesta treu rendiment de les potencialitats digitals, i situa cada activitat dins d'un petit cicle d'aprenentatge.

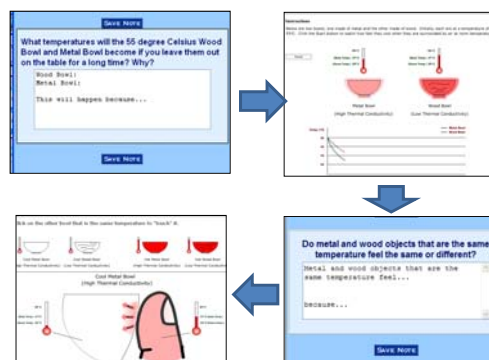


Figura 29: Diferents pantalles successives d'un Entorn Virtual d'Aprenentatge.

Així doncs, a través d'aquests cinc punts i dels exemples que els acompanyen, dono per presentada la síntesi dels resultats i les conclusions que se'n deriven. Per acabar, he volgut exposar una breu prospectiva de com aquests resultats i conclusions poden en el futur ser utilitzat tant per recerca com per transferència al món de l'educació.

³⁸ <http://wise.berkeley.edu/>

10. Prospectiva

He exposat un conjunt de resultats en forma de consideracions al voltant de com dissenyar materials educatius hipermèdia per a l'aprenentatge de la Física. Aquests permeten constatar el que ja havia plantejat a l'inici de la memòria:

- El camp de la digitalització dels materials està ara per ara molt obert i és un món amb canvis constants. Tot i així, més enllà de les novetats tecnològiques, és important tenir en compte les característiques fonamentals dels materials hipermèdia per arribar a entendre la seva funció educativa.
- Qualsevol transformació de materials impresos a materials digitals no és per si mateixa positiva, sinó que cal un procés de reflexió al voltant dels objectius educatius que es vol en cada moment.

Amb els resultats obtinguts, no és difícil argumentar que aquesta recerca, lluny d'acabar-se en ella mateixa, obre una infinitat de portes. Al llarg del treball, he establert unes bases sòlides (tot i que sempre millorables) per enfocar futures recerques empíriques i que abordin aspectes més específics dels hipermèdia educatius de Física. Considero que he establert aquestes bases sòlides perquè una de les tasques més importants del treball ha estat definir i categoritzar adequadament la terminologia i el significat de cadascun dels conceptes abordats, cosa que en d'altres camps no hagués calgut fer-ho.

Entenc que aquesta de tasca de definir i classificar "tot allò hipermèdia" em serà útil per abordar els nous reptes plantejats en el món educatiu, especialment amb l'aparició massiva dels llibres digitals a les aules de secundària i dels cursos *online*. En aquest context és molt important aclarir què és el que es vol dir en cada moment, perquè sinó una recerca es pot perdre en un mar de canvis i innovacions.

Algunes de les línies de recerca i de transferència que queden obertes amb aquest treball i que hauré de tenir en consideració de cara al futur són:

- L'estudi i l'avaluació de les propietats educatives de llocs webs i llibres digitals.
- El treball amb professorat de secundària, professorat universitari.
- El treball amb editorials i dissenyadors de materials hipermèdia.
- La recerca empírica amb alumnat sobre els efectes d'utilitzar diferents materials educatius hipermèdia.
- L'aprofundiment en qualsevol dels camps a través del treball conjunt amb gent experta que vingui d'aquests camps (lingüística, multimèdia, informàtica...)
- El disseny de llocs web propis en col·laboració amb dissenyadors experts o en pràctiques, com per exemple estudiants de final de carrera d'Enginyeria Informàtica.

11. Bibliografia

A) Articles i llibres citats

- Acuña, S., & Weber, V. (1999). *La utilización de hipertextos como herramientas para el aprendizaje y la instrucción*. Paper presented at the Congreso Edutec 99, Sevilla.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Alejandro. (2004). Física experimental en Internet. *Revista Iberoamericana de Educación*.
- Altherr, S., Wagner, A., Eckert, B., Jörg Jodl, H. (2003). Multimedia material for teaching physics (search, evaluation and examples). *European Journal of Physics*, 25, 7-14.
- Amadiou, F., & Tricot, A. (2005). Utilisation d'un hypermédia et apprentissage: deux activités concurrentes ou complémentaires? *Psychologie française*, 51, 5-23.
- Austin, K. A. (2009). Multimedia learning: Cognitive individual differences and display design techniques predict transfer learning with multimedia learning modules. *Computers & Education*, 53, 1339-1354.
- Baade, N. N., & Zerbino, L. M. (2008). *Fuerzas newtonianas y de campo: Hipertexto para realizar un puente conceptual entre modelos*. Paper presented at the VI Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería, Salta (Argentina).
- Balasubramanian, V. (1994). *State of the Art Review on Hypermedia Issues And Applications*: E-Papyrus, Inc.
- Bazley, M., Herklots, L., et al. (2002). Using the Internet to make physics connect. *Physics Education*, 37(2), 118-121.
- Besson, U. (2009). Calculating and Understanding: Formal Models and Causal Explanations in Science, Common Reasoning and Physics Teaching. *Science & Education*, 19, 225-257.
- Biggs, J. (1987). *Student Approaches to Learning and Studying*: Australian Council for Educational Research Ltd.
- Biggs, J., & Tang, C. (1999). *Teaching for Quality Learning at University*: Open University Press.
- Bohigas, X., Novell, M., et al. (2003). Getting Information on the WWW for Educational Purposes: Problems and a Possible Solution. *Interactive Educational Multimedia*, 7, 29-45.
- Bowie, J. (2001). Student Problems with Hypertext and Webtext: A Student-Centered Hypertext Classroom? *KAIROS*, 6(2).
- Bramón, A. (2000). *Física per a tothom*. Barcelona: Servei de Publicacions de la UAB.
- Bransford, J., Brown, L., et al. (1999). *How people learn. Brain, Mind, Experience, and School*. Washington.
- Bridgman, P. W. (1950). *Reflection of a Physicist*. New York: Philosophical Library INC.
- Capón, J. L. (2003). *Enlazar con el aula: una didáctica del hipertexto*. Paper presented at the Congreso Iberoamericano de Comunicación y Educación, Huelva.
- Casellas, T. (2006). FisLab.net, un laboratori virtual de Física. *Ciències*, 3, 21-24.
- Clinch, J., & Richards, K. (2002). How can the Internet be used to enhance the teaching of physics? *Physics Education*, 37(2), 109 - 114.
- Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90(6), 1073-1091.
- Cox, A. J., Belloni, M., et al. (2003). Teaching thermodynamics with Physlets (R) in introductory physics. *Physics Education*, 38(5), 433-440.
- Chin, C., & Brown, D. E. (2000). Learning in Science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 109-138.
- de Jong, T. (2010). *Technology Enhanced Inquiry Learning in Science; current state and future developments*. Paper presented at the Computer Based Learning in Science, Warsaw.
- de Jong, T., & Van der Hulst, A. (2002). The effects of graphical overviews on knowledge acquisition in hypertext. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18, 219-231.
- Discenna, J. (1998). *A Study of Knowledge Structure in Physics*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Diego.
- Domovan, S., & Bransford, J. (2005). *How students learn: History, Mathematics, and Science in Classroom*. Washington.

- Eco, U. (1997). *Como se hace una tesis. Técnicas y procedimientos de estudio, investigación y escritura*.
- Entwistle, N. (1988). *Styles of Learning and Teaching*. David Fulton.
- Esquembre, F., Martín, E., et al. (2004). *Fislets. Enseñanza de la Física con Material Interactivo*. Madrid: Capella, I. .
- Faletič, S. (2010). *Interactive e-learning content for physics*. Paper presented at the GIREP-ICPE-MPTL 2010, Reims.
- Franco, A. (2007). Creación de contenidos interactivos para la enseñanza de la física. In P. Membiela (Ed.), *Experiencias innovadoras de utilización de las NTIC en actividades prácticas de ciencias* (pp. 7-29).
- Fuller, R. (1993). Hypermedia and the knowing of physics: Standing upon the shoulders of giants. *American Association of Physics Teachers* 61(4), 300-304.
- Galamer, H. (1977). *Verdad y Método I. Fundamentos de una hermenéutica filosófica*. Salamanca: Sígueme.
- Gerace, W., Dufresne, R., et al. (1999). Minds*On Physics: Materials for developing concept-based problem-solving skills in physics. . In D. Chirnside (Ed.), *Neat Zippy ideas in Physics*. New Zealand: Christchurch.
- Girwidz, R. (2010). *Mechanics Multimedia Reviews: Report and recommendations on available multimedia material (Keynote Presentation)*. Paper presented at the MPTL Conference 2010, Reims.
- Glushko, R. (1989). Transforming text into hypertext for a compact disc encyclopedia. *ACM SIGCHI Bulletin*, 20, 293-298.
- Gnesdilow, D., Smith, G. W., et al. (2010). *An Analysis of Science Teachers' classroom discourse relating to the use of models and simulations in Physics*. Paper presented at the Computer Based Learning in Science Warsaw.
- Gosse, H., Gunn, H., et al. (2002). Learning in a Hypertext Environment. from <http://www.accesswave.ca/~hgunn/special/papers/hypertext/index.html>
- Hennessy, S., J., W., et al. (2007). Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching. *Computers & Education*, 48, 137-152.
- Hrastinski, S. (2009). A theory of online learning as online participation. *Computers & Education*, 52, 78-82.
- Istrate, O. (2009). Visual and pedagogical design of eLearning content. *eLearning Papers*, 17.
- Jacobson, M. J., Maouri, C., et al. (1996). Learning with hypertext learning environments: theory, design, and research. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 5(3/4), 239-281.
- Jeong, H., & Hmelo-Silver, C. (2010). Productive use of learning resources in a online problem-based learning environment. *Computers in Human Behavior*, 26, 84-99.
- Jonassen, D. (1986). Hypertext Principles for Text and Courseware Design. *Educational Psychologist*, 21(4), 269-292.
- Jonassen, D. (2006). On the Role of Concepts in Learning and Instructional Design. *Educational Technology Research and Development*, 54(2), 177-196.
- Jonassen, D., Carr, C., et al. (1998). Computers as Mindtools for Engaging Learners in Critical Thinking. *TechTrends*, 43(2), 24-32.
- Jonassen, D., & J., S. (2006). Modeling for meaningful learning learning. In D. H. a. M. S. Khine (Ed.), *Engaged Learning with Emerging Theories* (pp. 1-27). Netherlands.
- Kirchner, X. (2010). *El futuro de los libros digitales en el contexto educativo* Paper presented at the Jornada de Debate entorno al Libro Digital Barcelona.
- Lacki, J. (2003). Styles of Physical Thinking Versus Mathematical Ones. *Synthese*, 134(1), 273-288.
- Lamarca, M. J. (2006). *Hipertexto: El nuevo concepto de documento en la cultura de la imagen*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Leonard, W. J., Gerace, W. J., et al. (1999). *Concept-based problem solving. Making concepts the language of physics*. Massachusetts: Department of Physcs & Astronomy and Scientific Reasoning Research Institute.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: a critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11(4-5), 357-380.
- Linn, M. (2003). Technology and science education: starting points, research programs, and trends. *International Journal of Science Education*, 25(6), 727-758.
- Marton, F., & Booth, S. (1997). *Learning and Awareness*. Mahwah, New Jersey: LAWRENCE ERLBAUM ASSOCIATES.

- Marton, F., & Säljö. (1976). On qualitative Differences in Learning-1: Outcome and Process. *British Journal of Educational Psychologist*, 46, 4-11.
- Mayer, R. (1997). Multimedia Learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1-19.
- Mayer, R. (2001). *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R., & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.
- McKnight, C., Dillon, A., et al. (1996). User Centred Design of Hypertext/Hypermedia for Education. In D. Jonassen (Ed.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 622-633): New York: Macmillan.
- McKnight, C., Dillon, A., & Richardson, J. (1991). *Hypertext in Context*. The Cambridge Series On Electronic Publishing.
- McKnight, C., Dillon, A., & Richardson, J. (1992). Hypertext / Hypermedia. In A. Kent (Ed.), *Encyclopedia of Library and Information Science* (Vol. 50, pp. 226-255). New York: Marcel Dekker.
- Moreno, R., & Mayer, R. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 358-368.
- Muller, D., Lee, K. J., et al. (2008). Coherence or interest: Which is most important in online multimedia learning? *Australasian Journal of Educational Technology*, 24(2), 211-221.
- Novell, M., Bohigas, X., et al. (2003). Applets en la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 21(3), 463-472.
- Oliver, R., & Herrington, J. . (1995). Developing effective hypermedia instructional materials. *Australian Journal of Educational Technology*, 11(2), 8-22.
- Padovani, S., & Lansdale, M. (2003). Balancing search and retrieval in hypertext: context-specific trade-offs on navigational tool use. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58, 125-149.
- Pejuan, A., Bohigas, X., et al. (2009, 23-27 September 2009). *A Multimedia-based course to learn basic acoustics through the Internet: Description and evaluation*. Paper presented at the MPTL, Udine.
- Pejuan, A., López, V., et al. (2010). *Transformació d'uns apunts tradicionals en un web hipertextual d'acústica* Paper presented at the Jornada Innovació docent - RIMA 2010, Barcelona.
- Pintó, R., & Ametller, J. (2002). Students' difficulties in reading images. Comparing results from four national research groups. *International Journal of Science Education*, 24(3), 333 - 341.
- Pintó, R., Couso, D., et al. (2010). An Inquiry-oriented approach for making the best use of ICT in the classroom. *eLearning Papers*, 20.
- Pintó, R., & Gutierrez, R. (2004). Analysing Computer Scientific Simulations from a didactical point of view. In E. Mechlová (Ed.), *Teaching and Learning Physics in New contexts* (pp. 116-117). Ostrava, Czechoslovakia: University of Ostrava.
- Ploetzner, R., Lippitsch, S., et al. (2006). *Students' difficulties in learning physics from dynamic and interactive visualizations*. Paper presented at the Conference Name|. Retrieved Access Date|. from URL|.
- Ploetzner, R., & VanLehn, K. (2009). The Acquisition of Qualitative Physics Knowledge During Textbook-Based Physics Training. *Cognition and Instruction*, 15(2), 169-205.
- Puntambekar, S., & Stylianou, A. (2005). Designing navigation support in hypertext systems based on navigation patterns. *Instructional Science*, 33, 451-481.
- Puntambekar, S. S. A., & Hübscher, R. (2003). Improving navigation and learning in hypertext environments with navigable concept maps. *Human-Computer Interaction*, 18(4), 395-428.
- Ramsden, P. (2005). *Learning to teach in Higher Education*: Taylor & Francis Group plc.
- Repiev, A. (2000). A physicist's view on branding. http://www.repiev.ru/articles/physicist_branding.htm.
- Rosenberg, J. (2010). *Energy for everyone*. Paper presented at the GIREP-ICPE-MPTL 2010, Reims.
- Rueda, R. (1999). Hipertexto, ambientes de aprendizaje y formación. *Bits Espiral*.
- Rueda, R. (2001). Evaluación de hipertextos: Perspectivas de diseño e investigación educativa. *Educació i Cultura*, 14, 275-285.
- Russell, G. (1998). Elements and implications of a hypertext pedagogy. *Computers & Education*, 31, 185-193.

- Salinas, J. (1994). Hipertexto e hipermedia en la enseñanza universitaria. *Píxel-Bit*, 1.
- Salmerón, L., Baccino, T., Cañas, J., Madrid, R., Fajardo, I. . (2009). Do graphical overviews facilitate or hinder comprehension in hypertext? *Computers & Education*, 53, 1308-1319.
- Salmerón, L., Kintsch, W., & Cañas, J. (2006). Reading strategies and prior knowledge in learning from hypertext. *Memory & Cognition*, 34(5), 1157-1171.
- Scoth, P. (2010). *Teaching Physics Concepts: a neglected art? (Keynote Presentation)*. Paper presented at the Conference Name|. Retrieved Access Date|. from URL|.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., et al. (1988). *Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains*. Paper presented at the 10th Annual Conference of the Cognitive Science Society, New Jersey.
- Stelzer, T., Gladding, G., et al. (2009). Comparing the efficacy of multimedia modules with traditional textbooks for learning introductory physics content. *American Journal of Physics*, 77(2), 184-190.
- Tabbers, H. M. R. M. J. (2004). Multimedia instructions and cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 71-81.
- Tagg, J. (2003). *The Learning Paradigm College*. Bolton, MA: Anker Publishers.
- Thüring, M., , Hannemann, J., Haake, J. (1995). Hypermedia and Cognition: Designing for Comprehension. *Communications of the ACM*, 38(8), 57-66.
- Tomass, R. (2001). *Models-The basis of physical thinking. Conclusions for multimedia*. Paper presented at the Developing Formal Thinking in Physics. GIREP Seminar 2001, Udine.
- Torres, L. (2005). Elementos que deben contener las páginas web educativas. *Pixel-Bit*, 25.
- Trinidad, J., Filhais, C., Almeida, L. . (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33(4), 471-488.
- Troffer, A. (2001). Writing Effectively Online: How to Compose Hypertext from <http://homepage.mac.com/alysson/httoc.html>
- Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *Am. J. Phys.*, 59, 891-897.
- Walker, J. (1987, November 13-15 1987). *Document examiner: Delivery interface for hypertext documents*. , University of North Carolina.
- Wang, W. R. R. (1998). Structured Hypertext with Domain Semantics. *ACM Transactions on Information Systems*, 16(4), 372-412.
- Zheng, R. Z., Yang, W., et al. (2008). Effects of multimedia and schema induced analogical reasoning on science learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(6), 474-482.

B) Llocs webs educatius de Física consultats

<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/assignaturas/fisica/default.htm>
<http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/course/view.php?id=111#bajar>
<http://baldufa.upc.edu/>
<http://cosmology.berkeley.edu/Education/ISTAT/cfpa/>
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>
<http://oyc.yale.edu/physics/fundamentals-of-physics/>
<http://perso.wanadoo.es/cpalacio/acelera2.htm>
<http://phet.colorado.edu/index.php>
http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos.html
<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Physics/8-01Physics-IFall1999/CourseHome/index.htm>
http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/calor/calor-conceptos.htm?0&0
<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Calor/index.htm>
http://web.educastur.princast.es/proyectos/jimena/pj_franciscga/index.htm
<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>
<http://wise.berkeley.edu/>
<http://www.aulafacil.com/curso-fisica-movimiento/curso/Temario.htm>
<http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>
<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>
<http://www.edu365.cat/eso/muds/ciencias/problemes/calor/index.htm>
<http://www.edu365.cat/eso/muds/ciencias/problemes/cinematica2/index.htm>
<http://www.educaplus.org/movi/index.html>
<http://www.ehu.es/acustica/>
<http://www.falstad.com/mathphysics.html>
<http://www.fisica.ufpb.br/prolicen/>
http://www.internet4classrooms.com/physics_standard.htm
http://www.iop.org/activity/education/Projects/Teaching%20Advanced%20Physics/page_8325.html
<http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1062>
<http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1073>
<http://www.mcasco.com/ploutln.html>
<http://www.oulu.fi/~spaceweb/textbook/>
<http://www.physicsclassroom.com/>
http://www.profes.net/variados/videos_interactivos/index.html
<http://www.quantum-physics.polytechnique.fr/index.html>
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/>
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>
<http://www.spice.wa.edu.au/home>
<http://www.stochasmos.org/>
<http://www.ub.es/javaoptics/>
<http://www.viten.no/nob/>
<http://www.xtec.es/centres/a8019411/caixa/index.htm>
<http://www2.udec.cl/~dfiguero/curso/>
<http://yperelman.ifrance.com/fisicarecreativa1/fisicarecreativa104.html>
http://descartes.cnice.mec.es/eda2008/profesores_newton/practicas_newton/p3/Eda2008%20Newton/guer-ra_bahamonde/practica_3/pagina_nueva_3.htm
<http://www.dannex.se/theory/1.html>
<http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/osc.html>